



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

**TESINA**

**“DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO SEMIFLEXIBLE DE 1.4 KM  
DE LONGITUD EN EL TRAMO CARRETERO ESTELI –MIRAFLOR, POR EL  
METODO DE LA AASHTO 93”**

**PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL.**

**SUSTENTANTES**

Br. Darwing Castillo Leiva.

Br. Harvin Castillo Leiva.

**TUTOR**

MSc. Ing. Jimmy Sierra Mercado.

**Managua, Julio 2015**

Managua, 9 de Julio del 2015

**Doctor**

**ING. OSCAR ISAAC GUTIÉRREZ SOMARRIBA**

Decano

Facultad de Tecnología de la Construcción - UNI

Sus Manos

Estimado Decano:

Por este medio tengo a bien informarle que la tesina que lleva por nombre: **“DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO SEMIFLEXIBLE DE 1.4 KM DE LONGITUD EN EL TRAMO CARRETERO ESTELI – MIRAFLOR, POR EL METODO DE LA AASHTO 93”** está lista para entrar en el proceso de defensa, la cual fue realizada por los Bachilleres: Harvin Castillo Leiva y Darwing Castillo Leiva, bajo mi tutoría.

Adjunto documento final de dicha tesina, para sus respectivas observaciones.

Sin más a que hacer referencia, le saludo.

Atentamente:

---

Ing. Jimmy Sierra Mercado.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION  
DECANATURA

DEC-FTC-REF-No.182  
Managua, abril 09 del 2015.

Bachilleres  
HARVIN CASTILLO LEIVA  
DARWING CASTILLO LEIVA  
**Presente**

Estimadas Bachilleres:

Es de mi agrado informarles que el PROTOCOLO de su Tema de Tesina titulado DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO SEMIFLEXIBLE DE 1.4 KM DE LONGITUD EN EL TRAMO CARRETERO ESTELI – MIRAFLORES, POR EL METODO DE LA AASHTO 93", ha sido aprobado por esta Decanatura.

Asimismo les comunico estar totalmente de acuerdo, de que el Ing. JIMMY SIERRA MERCADO, sea el tutor de su trabajo final.

La fecha límite, para que presenten concluido su documento, debidamente revisado por el tutor guía será el 10 de julio del 2015.

Esperando puntualidad en la entrega de la Tesina, me despido.

Atentamente,



Dr. Ing. Oscar Gutiérrez Somarriba  
Decano

CC: Protocolo  
Tutor  
Archivo\*Consecutivo  
DIOGS\*mary



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION  
DEPARTAMENTO DE COORDINACION DE FORMAS DE  
CULMINACION DE ESTUDIOS**

---

**HOJA DE CONCLUSIÓN DE TESINA**

|   |
|---|
| <b>NOMBRE DE LOS SUSTENTANTES:</b><br>1) Darwing Castillo Leiva.<br>2) Harvin Castillo Leiva.   |
| <b>NOMBRE DEL CURSO:</b><br>Obras Viales  |
| <b>NOMBRE DE LA TESINA:</b><br><b>“DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO SEMIFLEXIBLE DE 1.4 KM DE LONGITUD EN EL TRAMO CARRETERO ESTELI – MIRAFLOR, POR EL METODO DE LA AASHTO 93”</b> |
| <b>ESPECIFIQUE AL MENOS DOS AREAS DE CONOCIMIENTO QUE ABORDARAN EN LA TESINA:</b><br>1) Estudio de Tráfico<br>2) Estudio de Suelo<br>3) Diseño Pavimento                                |
| <b>FECHA DE DEFENSA:</b>  |
| <b>VALORACION DEL TUTOR SOBRE LA TESINA:</b>  |
| <b>JURADO CALIFICADOR DE LA TESINA:</b><br>1)<br>2)<br>3)   |
| <b>FIRMA COORDINADOR:</b> _____   |

-----  
FIRMA DEL TUTOR.

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado:

A Dios, por habernos ayudado a culminar una etapa más en nuestras vidas; iluminar nuestros pasos y brindarnos la sabiduría y fortaleza para salir adelante.

A mis padres, porque siempre nos acompañaron a través de los años por este caminar y darnos su apoyo incondicional sin importar las dificultades; ellos han sido el más claro ejemplo de lucha y superación.

A nuestros familiares, por sus palabras de ánimo y tener fe en nosotros.

Y a todos los amigos y compañeros que han vivido con nosotros esta experiencia.

**Br. Darwing Castillo Leiva**

**Br. Harvin Castillo Leiva**

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente le damos gracias a Dios por habernos permitido alcanzar nuestro objetivo con esfuerzo y dedicación; por ser el motor de nuestras vidas dándonos las fuerzas necesarias para seguir adelante día a día, además de su infinita bondad, sabiduría y amor.

A nuestros padres, por habernos apoyado en todo momento sin importar las dificultades y problemas, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que nos han permitido ser personas de bien, siendo nuestros más grandes ejemplos de perseverancia.

Al tutor Ing. Jimmy Sierra Mercado, por su apoyo incondicional en la realización de este trabajo, por los conocimientos transferidos y el tiempo brindado para la culminación del mismo.

A docentes y demás personas involucradas por su colaboración y aporte intelectual en cada etapa del trabajo contribuyendo así al logro de nuestros objetivos.

**Br. Darwing Castillo Leiva**

**Br. Harvin Castillo Leiva**

## **RESUMEN EJECUTIVO**

En el siguiente documento se realizó el diseño de la estructura de pavimento semiflexible de 1.4 km, en el tramo carretero Estelí-Miraflor por el método de la AASHTO 93.

Estructura del contenido:

- I. Estudio de Tráfico
- II. Estudio Geotécnico
- III. Diseño Estructural de Pavimento.

### **Estudio de Tráfico**

Se basa en la situación actual del tráfico sobre el tramo de carretera y su respectiva proyección, tomando como parámetro los volúmenes de tránsito obtenidos mediante aforos en el sitio de estudio.

Se realizó un aforo vehicular sobre la vía por 12 horas (6:00 am a 6:00 pm) durante 7 días, desde el día lunes 4 de mayo hasta el día domingo 10 de mayo del presente año; del cual se obtuvo el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de 721 vehículos. A demás, se estimó una tasa de crecimiento del 4.02%, tomando en cuenta los datos históricos del TPDA de la estación Permanente 107 Sébaco-San Isidro, se realizaron las correlaciones del TPDA-PIB y del TPDA-Población. Se obtuvo el número de repeticiones por eje equivalente (ESAL's) o  $W_{18} = 1,710,012$ .

### **Estudio Geotécnico**

Se realizó 14 sondeos manuales sobre la carretera a diseñar, con el objetivo de identificar las propiedades y clasificación de los diferentes estratos existentes hasta una profundidad de 1.50 m.

El material predominante en la subrasante, se clasifica como grava y arena arcillosa o limosa, de color café claro, o A-2-6, con una plasticidad media, luego de haber aplicado el criterio del instituto de asfalto se identificó un CBR de diseño para la subrasante de 20%.

Para llevar a cabo el diseño estructural de la Base, se analizó el material de tres bancos de préstamo, obteniendo como resultado que el más óptimo técnicamente es El Banco "Las Viejitas", ya que posee un material que cumple con las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Calles y Puentes, NIC-2000, por lo que puede ser utilizado como base granular en la estructura de pavimento, con un CBR para la base de 80%.

### **Diseño de la Estructura de Pavimento**

Se diseñó una alternativa de pavimento semiflexible aplicando la metodología AASHTO 93. Después de conocer las propiedades del suelo y realizar las proyecciones del tráfico se procedió a calcular los espesores del paquete estructural utilizando los nomogramas para el cálculo de  $a_2$  y el MR para base granular, así también el número estructural de diseño SN requerido para la subrasante y luego se verificó en el software WinPAS, para la comprobación del Diseño.

Los principales parámetros para determinar los espesores fueron:

- ✓ Grado de Confiabilidad..... $R = 85\%$
- ✓ Desviación Estándar..... $S_o = 0.45$
- ✓ Capacidad de Servicio Inicial..... $P_o = 4.2$
- ✓ Capacidad de Servicio Final..... $P_t = 2.0$
- ✓ Número de Ejes Equivalentes..... $ESAL's \text{ o } W_{18} = 1,710,012$
- ✓ C.B.R de Diseño.....Sub Rasante = 20%

Se obtienen los espesores de las capas del pavimento, dando como resultado una estructura con una capa de rodadura de 4 pulgadas (espesor estándar del adoquín de concreto), un colchón de arena de 2 pulgadas y una base granular de 8 pulgadas (20 cm).



## INDICE DE CONTENIDO

| ITEM.....   | PAG.     |
|---|----------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>                             | <b>1</b> |
| <b>2. ANTECEDENTES.....</b>                             | <b>2</b> |
| <b>3. JUSTIFICACIÓN.....</b>                            | <b>3</b> |
| <b>4. OBJETIVOS.....</b>                                | <b>4</b> |
| <br><b>CAPÍTULO I. ESTUDIO DE TRÁNSITO</b>              |          |
| II.1 Generalidades.....                                 | 6        |
| II.2 Procedimiento de Campo.....                        | 6        |
| II.3 Resultados del conteo Vehicular.....               | 7        |
| II.3.1 Conteo y Clasificación Vehicular.....            | 7        |
| II.3.2 Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA).....        | 8        |
| II.4 Tasas de Crecimiento.....                          | 11       |
| II.4.1 Correlaciones Estación 107.....                  | 13       |
| II.5 Tráfico de Diseño.....                             | 22       |
| II.5.1 Período de Diseño (PD).....                      | 23       |
| II.5.2 Factor de Crecimiento ( $F_C$ ).....             | 24       |
| II.5.3 Factor Distribución por Dirección ( $F_D$ )..... | 24       |
| II.5.4 Factor Distribución Por Carril ( $f_C$ ).....    | 25       |
| II.5.5 Índice de Serviabilidad Inicial ( $P_O$ ).....   | 26       |
| II.5.6 Índice de Serviabilidad Final ( $P_t$ ).....     | 27       |
| II.5.7 Pérdida de Serviabilidad ( $\Delta PSI$ ).....   | 27       |
| II.5.8 Número Estructural Asumido (SN).....             | 27       |
| II.5.9 Factor de Equivalencia (FESAL).....              | 28       |
| II.5.10 Ejes Equivalentes (ESAL o W18).....             | 28       |

## **CAPÍTULO II. ESTUDIO GEOTÉCNICO**

|  |    |
|--|----|
| I.1 Generalidades.....                         | 31 |
| I.2 Ensayos de Suelos de Línea.....            | 31 |
| I.2.1 Resultado de Ensayos sobre la Línea..... | 32 |
| I.3 Ensayos de Bancos.....                     | 33 |
| I.3.1 Análisis de Bancos de Préstamos.....     | 35 |
| I.4 Cálculo del CBR de Diseño.....             | 37 |

## **CAPÍTULO III. DISEÑO DE PAVIMENTO**

|  |    |
|--|----|
| III.1 Generalidades.....                                     | 42 |
| III.2 Consideraciones del Diseño AASHTO 93.....              | 43 |
| III.2.1 Confiabilidad (R).....                               | 43 |
| III.2.2 Desviación Estándar (So).....                        | 43 |
| III.2.3 Coeficiente de Drenaje (m).....                      | 44 |
| III.2.4 CBR de Diseño.....                                   | 45 |
| III.2.5 Módulo de Resilencia (MR).....                       | 45 |
| III.2.6 Coeficientes Estructurales.....                      | 46 |
| III.3 Verificación de resultados con el Programa WinPAS..... | 50 |

|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| <b>CONCLUSIONES.....</b> | <b>53</b> |
|--------------------------|-----------|

|                             |           |
|-----------------------------|-----------|
| <b>RECOMENDACIONES.....</b> | <b>54</b> |
|-----------------------------|-----------|

|  |           |
|--|-----------|
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b> | <b>55</b> |
|--|-----------|

---

## **1. INTRODUCCIÓN**

Las carreteras son una pieza clave en el desarrollo económico y social en el territorio de nuestro país. Un pavimento debe ser diseñado de tal manera que las cargas impuestas por el tránsito no generen deformaciones permanentes excesivas y así brindar mayor seguridad y comodidad a los usuarios.

El presente documento contiene el diseño de una estructura de pavimento semiflexible de 1.4 km de longitud en el tramo de carretera Estelí-Miraflor localizado en el departamento de Estelí. Este camino se desarrolla mayoritariamente con rumbo noreste sobre un terreno pedregoso y semi montañoso que servirá de vía turística y para el desarrollo de la Región.

Para llevar a cabo este diseño, se aplicó el método AASHTO 93, este considera las cargas a las que está expuesta la estructura de pavimento debido al tráfico que pasa por ella, tomando en cuenta la capacidad de soporte de los materiales de los diferentes estratos que la componen. Cabe señalar que el diseño deberá cumplir con los criterios y especificaciones de la NIC-2000, el cual aporta a construir mejores y más durables superficies de rodadura de las carreteras.

## 2. ANTECEDENTES

La comunidad de Miraflor es una de las más productivas del municipio de Estelí, está habitada principalmente por finqueros que cultivan papas, repollo, tomate, legumbres, granos básicos y abundan las lecherías, crían ganado y ayudan a las comunidades a generar productos ecológicos siendo el café uno de los más importantes, por lo que la carretera es indispensable para sacar esos alimentos que abastecen el mercado local y nacional.

En esta zona productiva se estima que salen 5 mil quintales de café y diez mil litros de leche aproximadamente (en invierno), granos básicos como el frijol y hortalizas hacia los mercados locales y nacionales y es por ello que el trayecto de vía ha recibido reparaciones para que la cosecha no se vea afectada.

A lo largo de la carretera Estelí-Miraflor encontraremos fábricas como PROCENICSA, A J FERNANDEZ, TAMBOR entre otras, cuya actividad principal es el manejo, fermentación, escogida y despalillo de los mejores tabacos en rama para la producción de puros.

Miraflor además de ser una zona protegida desde 1996, y categorizada Modelo Piloto en septiembre de 1999, es uno de los principales destinos turísticos del departamento, ya que cuenta con una reserva natural.

La alcaldía de Estelí ha realizado intervención durante las reparaciones ejecutando trabajos temporales hasta el grado de revestir con capas de material y luego compactarlas pero estos trabajos no avanzan a otro tipo de ejecución ni se ha implementado otro posible diseño.

### 3. JUSTIFICACIÓN

La realidad del tramo de vía en estudio es que se encuentra deteriorado por el pasar de los años, a raíz de este problema surge la necesidad de realizar el diseño de pavimento semiflexible que cumpla con las condiciones que demanda el tráfico.

Dicho tramo de carretera es de vital importancia para el municipio ya que se encuentra en una zona donde existen lugares ecológicos significativos, además de localizarse en un área de producción constantemente activa; sirve como vía de comunicación y de acceso al transporte colectivo y transporte privado que se dirigen a las demás comunidades cercanas.

La ejecución del Proyecto es de suma conveniencia debido a que significa reactivar la única vía de acceso con que disponen las diversas industrias tabacaleras y la reserva natural comprendida dentro del área de estudio, lo cual sugiere mayor circulación de vehículos y por ende, más posibilidades de generación de empleo relacionados directa e indirectamente con la rehabilitación de la carretera, promover el crecimiento económico en las áreas de: turismo, productos ecológicos, agrícolas, lecherías, etc., con el fin de elevar la calidad de vida de la población que se benefician con estos rubros, la mejora del factor transporte en la subzona de Miraflor y la disminución de riesgo que implica transitar por la carretera.

Un diseño estructural de pavimento semiflexible o de adoquines es propicio y favorable debido a que es un sistema práctico de construir, tiene una excelente apariencia, estética, durabilidad y fácil mantenimiento. Utilizaremos principios básicos del diseño de Pavimentos mediante la metodología AASHTO 93, cumpliendo con los criterios y especificaciones necesarios, para garantizar una mejor y más durable superficie de rodadura de la carretera, para seguridad y comodidad de los usuarios.

## 4. OBJETIVOS

### **Objetivo General:**

- ✓ Realizar el diseño de una estructura de pavimento semiflexible de 1.4 km de longitud en el tramo carretero Estelí – Mirafior, por el método de la AASHTO 93.

### **Objetivos Específicos:**

- ✓ Analizar las propiedades físico-mecánicas del suelo del tramo en estudio, así como los bancos de materiales para la determinación de los tipos de suelos en la zona.
- ✓ Realizar estudio de tránsito para analizar el tipo de transporte, cantidad de vehículos circulantes a fin de determinar las características de diseño de la carretera.
- ✓ Determinar los Espesores a través del Método de la AASHTO 93, para Diseño de Pavimento semiflexible.

# CAPÍTULO I

## ESTUDIO DE TRÁNSITO



## **I.1 Generalidades**

La ingeniería de tráfico trata sobre la planificación, diseño y operación de tráfico en las calles, carreteras y autopistas, sus redes, infraestructuras, tierras colindantes y su relación con los diferentes medios de transporte consiguiendo una movilidad segura, eficiente y conveniente tanto de personas como de mercancías.

El tráfico representa uno de los factores esenciales para la determinación de espesores, tanto la cantidad como composición del tráfico, son determinantes para establecer las cargas a las que estará sometido el pavimento en un periodo de diseño previamente establecido.

En este capítulo se reflejan los resultados obtenidos de un aforo vehicular en la vía en estudio, cuyos datos se proyectaron para obtener el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA).

## **I.2 Procedimiento de Campo**

Se realizó un aforo o conteo vehicular para obtener los volúmenes de tráfico, la capacidad de la vía, los niveles de servicio y la proyección vehicular. La estación del conteo fue ubicado en una zona con adecuada visibilidad y con amplitud en los hombros, logrando captar el tráfico en ambos sentidos de la vía. Esta estación fue ubicada a 500 metros de la gasolinera star mart carretera hacia Mirafior.

Para lograr dichos objetivos hicimos uso de los anuarios y revistas de tráfico del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), se efectuó un conteo de una semana de duración, comenzando la actividad a partir del día lunes 4 de Mayo y concluyendo esta actividad el día domingo 10 de Mayo del presente año, realizando el conteo y clasificación vehicular de 12 horas continuas de las 06:00 AM hasta las 06:00 PM para obtener el transito promedio diario anual (TPDA).



### I.3. Resultados del conteo vehicular

#### I.3.1 Conteo y Clasificación Vehicular

Para realizar el aforo, se utilizó el formato mostrado en el Anexo VIII y los resultados de los conteos y clasificación vehicular del tramo Estelí-Miraflor en el departamento de Estelí, son los presentados a

**Tabla N°1: Resultados del Conteo y Clasificación por Día (12.00 horas)**

#### Estelí - Empalme Chilamatillo

| DIAS                | MOTO   | VEHICULOS LIVIANOS |       |            |      |          | VEHICULOS DE CARGA |        |            |       |      |      |      | VEH. PESADOS |            |        | TOTAL |
|---------------------|--------|--------------------|-------|------------|------|----------|--------------------|--------|------------|-------|------|------|------|--------------|------------|--------|-------|
|                     |        | AUTOS              | JEEP  | CAMIONETAS | Mbus | MB > 15P | BUS                | C2 LIV | C2 > 5 Ton | C3    | C2R2 | T2S1 | T2S2 | Veh. Constr  | Veh. Agric |        |       |
| LUNES               | 205    | 43                 | 76    | 174        | 2    | 3        | 12                 | 68     | 38         | 13    | 5    | 5    | 4    | 3            | 12         | 663    |       |
| MARTES              | 174    | 31                 | 59    | 149        | 0    | 2        | 12                 | 60     | 32         | 7     | 4    | 2    | 1    | 1            | 8          | 542    |       |
| MIERCOLES           | 179    | 36                 | 67    | 153        | 1    | 2        | 14                 | 64     | 36         | 12    | 6    | 6    | 3    | 2            | 10         | 591    |       |
| JUEVES              | 170    | 24                 | 50    | 147        | 0    | 2        | 13                 | 56     | 31         | 6     | 7    | 3    | 2    | 0            | 7          | 518    |       |
| VIERNES             | 212    | 47                 | 84    | 181        | 3    | 4        | 14                 | 72     | 42         | 14    | 7    | 6    | 6    | 3            | 13         | 708    |       |
| SABADO              | 143    | 22                 | 35    | 128        | 1    | 1        | 10                 | 54     | 26         | 12    | 4    | 4    | 4    | 0            | 11         | 455    |       |
| DOMINGO             | 136    | 15                 | 25    | 116        | 0    | 0        | 10                 | 47     | 21         | 7     | 3    | 2    | 3    | 0            | 8          | 393    |       |
| TOTAL               | 1219   | 218                | 396   | 1048       | 7    | 14       | 85                 | 421    | 226        | 71    | 36   | 28   | 23   | 9            | 69         | 3870   |       |
| TPDS<br>(Veh/12hrs) | 174,14 | 31,14              | 56,57 | 149,71     | 1    | 2        | 12,14              | 60,14  | 32,29      | 10,14 | 5,14 | 4    | 3,29 | 1,29         | 9,86       | 552,86 |       |

Fuente: Elaboración Propia.

### **I.3.2 Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)**

El Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) es un indicador muy valioso de la cantidad de vehículos de diferentes tipos (livianos y pesados) y funciones (transporte de personas y de mercancías), que se sirve de la carretera existente como su tránsito normal y que continuará haciendo uso de dicha carretera nueva al entrar en servicio para los usuarios.

Para determinar el TPDA del tramo en estudio se realizó el conteo vehicular por día, posteriormente se obtuvo el Tránsito Promedio Diario Semanal o TPDS (mostrado en el cuadro anterior). Este promedio de vehículos obtenidos se afectó por el factor día y factor temporada de la estación 3502 Estelí-Empalme Chilamatillo, estos valores se encuentran en el Anuario de Tráfico 2010.



A continuación se muestra el cálculo del tráfico promedio diario anual (TPDA), haciendo uso de los factores de expansión del anuario de tráfico y del conteo vehicular obtenido del aforo.

**Tabla N°3: Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)**

|              | MOTO   | VEHICULOS LIVIANOS |       |            |      |          |       | VEHICULOS DE CARGA |            |       |      |      |      | VEH. PESADOS |            | TOTAL |
|--------------|--------|--------------------|-------|------------|------|----------|-------|--------------------|------------|-------|------|------|------|--------------|------------|-------|
|              |        | AUTOS              | JEEP  | CAMIONETAS | Mbus | MB > 15P | BUS   | C2 LIV             | C2 > 5 Ton | C3    | C2R2 | T2S1 | T2S2 | Veh. Constr  | Veh. Agric |       |
| TPDS         | 174,14 | 31,14              | 56,57 | 149,71     | 1    | 2        | 12,14 | 60,14              | 32,29      | 10,14 | 5,14 | 4    | 3,29 | 1,29         | 9,86       |       |
| FACTOR DIA   | 1,21   | 1,42               | 1,3   | 1,27       | 1,38 | 1,14     | 1,16  | 1,24               | 1,25       | 1,15  | 1    | 1    | 1    | 1            | 1          |       |
| F. EXPANSION | 0,98   | 1,04               | 0,95  | 0,97       | 0,95 | 1,25     | 1,08  | 0,99               | 1,16       | 1,24  | 1    | 1    | 1    | 1            | 4          |       |
| TPDA         | 207    | 46                 | 70    | 185        | 2    | 3        | 16    | 74                 | 47         | 15    | 6    | 4    | 4    | 2            | 40         | 721   |

*Fuente: Elaboración Propia*

#### I.4 Tasas de Crecimiento.

Se denomina tasa de crecimiento (TC), al incremento anual del volumen de tránsito en una vía, expresado en porcentaje. Se determina en base a los datos de las estaciones de conteo, extrapolando la tendencia de los datos estadísticos.

Para determinar las tasas de crecimiento para el tráfico vehicular futuro en el tramo Estelí-Miraflor, se realizaron correlaciones entre los registros históricos del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) y el Producto Interno Bruto (PIB), así como con la población, a fin de estimar una tasa diferenciada de crecimiento basado en datos históricos.

**Análisis del PIB:** Partiendo de la información del Banco Central de Nicaragua, se elaboró una tabla con los datos históricos existentes del PIB de los últimos 12 años (desde el año 2001 al año 2013). El PIB promedio del 2001 al 2013 es de 7186.2 millones de dólares, con una tasa de crecimiento promedio de 9.201%.

**Tabla N°4 Datos Históricos PIB**

| AÑO             | PIB (MILLONES \$) | TAC (%)      |
|-----------------|-------------------|--------------|
| 2001            | 4102,4            |              |
| 2002            | 4026              | -1,862       |
| 2003            | 4101,5            | 1,875        |
| 2004            | 4464,7            | 8,855        |
| 2005            | 4872              | 9,123        |
| 2006            | 6786,3            | 39,292       |
| 2007            | 7458,1            | 9,899        |
| 2008            | 8491,4            | 13,855       |
| 2009            | 8380,7            | -1,304       |
| 2010            | 8938,2            | 6,652        |
| 2011            | 9898,6            | 10,745       |
| 2012            | 10645,5           | 7,546        |
| 2013            | 11255,6           | 5,731        |
| <b>PROMEDIO</b> | <b>7186,23</b>    | <b>9,201</b> |

**Fuente: Banco Nacional de Nicaragua**

El ingeniero primeramente debe seleccionar la estación adecuada y cercana al lugar del proyecto para emplearla en la proyección de tráfico, por tanto se analizó el comportamiento de las tasas actual de crecimiento (TAC) de la estación 3502 Estelí-Empalme Chilamatillo y la Estación Permanente 107 Sébaco-San Isidro como se muestra en la tabla siguiente:

**Tabla N°5: Comportamiento de las tasas actual de crecimiento (TAC) de la estación 3502 y la Estación Permanente 107.**

| AÑO  | TPDA - EST. PERM     | TPDA - EST. ESTELI - EMP CHIL | TAC EST. PERM (%) | TAC EST. EST - EMP. CHIL (%) |
|------|----------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------|
| 2000 | 2905                 | 305                           |                   |                              |
| 2001 | 3122                 | 183,1961853                   | 7,470             |                              |
| 2002 | 3272                 | 99                            | 4,805             | -67,541                      |
| 2003 | 3428                 | 100,8925477                   | 4,768             |                              |
| 2004 | 3622                 | 103,2461005                   | 5,659             |                              |
| 2005 | 3405                 | 100,6135182                   | -5,991            |                              |
| 2006 | 3849                 | 106                           | 13,040            | 7,071                        |
| 2007 | 3853                 | 107,2539683                   | 0,104             |                              |
| 2008 | 4092                 | 182,1785714                   | 6,203             |                              |
| 2009 | 4101                 | 185                           | 0,220             | 74,528                       |
| 2010 | 4334                 | 467                           | 5,682             | 152,432                      |
| 2011 | 4517                 |                               | 4,222             |                              |
| 2012 | 4843                 |                               | 7,217             |                              |
| 2013 | 4954                 |                               | 2,292             |                              |
|      | Valores Interpolados |                               |                   |                              |

**Fuente: Elaboración Propia**

Como se puede apreciar las tasas actual de crecimiento de la estación Estelí-Empalme Chilamatillo son muy variables y no representan una tendencia adecuada, además hacen faltan datos para la estación de cobertura, por tanto se empleará la estación permanente 107 Sébaco-San Isidro.

**Tabla N°6: Tasa Actual de Crecimiento del TPDA de la Estación Permanente**

| <b>AÑO</b>      | <b>TPDA</b> | <b>TAC</b>  |
|-----------------|-------------|-------------|
| 2001            | 3122        |             |
| 2002            | 3272        | 4,80        |
| 2003            | 3428        | 4,77        |
| 2004            | 3622        | 5,66        |
| 2005            | 3405        | -5,99       |
| 2006            | 3849        | 13,04       |
| 2007            | 3853        | 0,10        |
| 2008            | 4092        | 6,20        |
| 2009            | 4101        | 0,22        |
| 2010            | 4334        | 5,68        |
| 2011            | 4517        | 4,22        |
| 2012            | 4843        | 7,22        |
| 2013            | 4954        | 2,29        |
| <b>PROMEDIO</b> |             | <b>4,02</b> |

***Fuente: Elaboración Propia***

Obviamente la Estación de Expansión no es cercana a la Estación Permanente 107, así que se considera una tasa de 4.02% para el crecimiento de los vehículos.

#### **I.4.1 Correlaciones Estación Permanente 107**

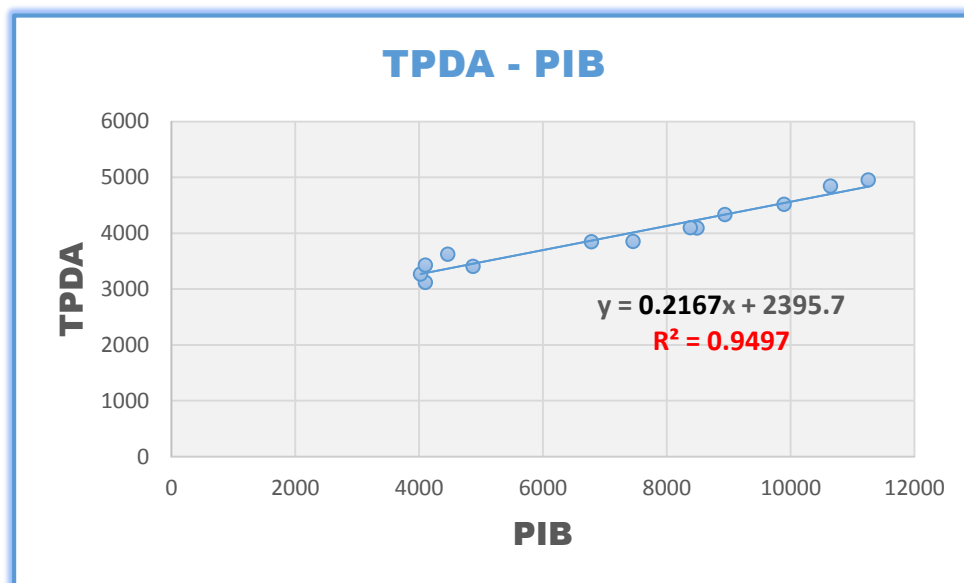
El cuadro siguiente, presenta el comportamiento del Producto Interno Bruto (PIB), en el período 2001-2013 y la representación gráfica con la ecuación de correlación del PIB con el TPDA de la estación Permanente No 107 Sébaco-Empalme San Isidro.

**Tabla N°7: Correlación PIB - TPDA (Estación No 107 Sébaco-Empalme San Isidro).**

| AÑO  | TPDA | PIB (Millones \$) |
|------|------|-------------------|
| 2001 | 3122 | 4102,4            |
| 2002 | 3272 | 4026              |
| 2003 | 3428 | 4101,5            |
| 2004 | 3622 | 4464,7            |
| 2005 | 3405 | 4872              |
| 2006 | 3849 | 6786,3            |
| 2007 | 3853 | 7458,1            |
| 2008 | 4092 | 8491,4            |
| 2009 | 4101 | 8380,7            |
| 2010 | 4334 | 8938,2            |
| 2011 | 4517 | 9898,6            |
| 2012 | 4843 | 10645,5           |
| 2013 | 4954 | 11255,6           |

*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura N°1: Correlación PIB – TPDA**



*Fuente: Elaboración Propia*

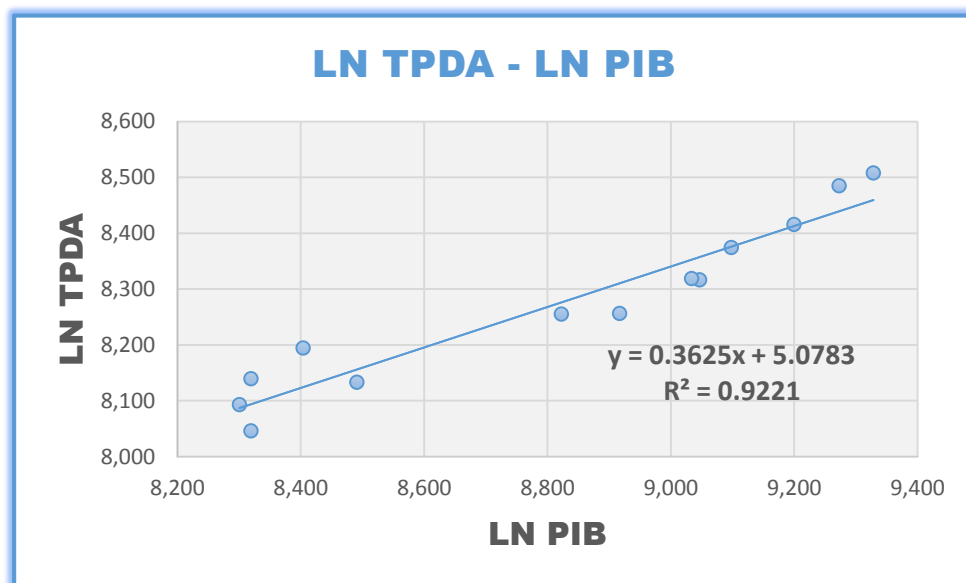


**Tabla N°8: Correlación LN PIB – LN TPDA (Estación No 107 Sébaco-Empalme San Isidro)**

| AÑO  | LN TPDA | LN PIB (Millones \$) |
|------|---------|----------------------|
| 2001 | 8,046   | 8,319                |
| 2002 | 8,093   | 8,301                |
| 2003 | 8,140   | 8,319                |
| 2004 | 8,195   | 8,404                |
| 2005 | 8,133   | 8,491                |
| 2006 | 8,256   | 8,823                |
| 2007 | 8,257   | 8,917                |
| 2008 | 8,317   | 9,047                |
| 2009 | 8,319   | 9,034                |
| 2010 | 8,374   | 9,098                |
| 2011 | 8,416   | 9,200                |
| 2012 | 8,485   | 9,273                |
| 2013 | 8,508   | 9,329                |

*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura N°2: Correlación LN PIB – LN TPDA**



*Fuente: Elaboración Propia*

La correlación PIB – TPDA (Estación No 107 Sébaco-Empalme San Isidro) genera un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) igual a 0.9497.

La correlación LN PIB – LN TPDA (Estación No 107 Sébaco-Empalme San Isidro) genera un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) igual a 0.9221.

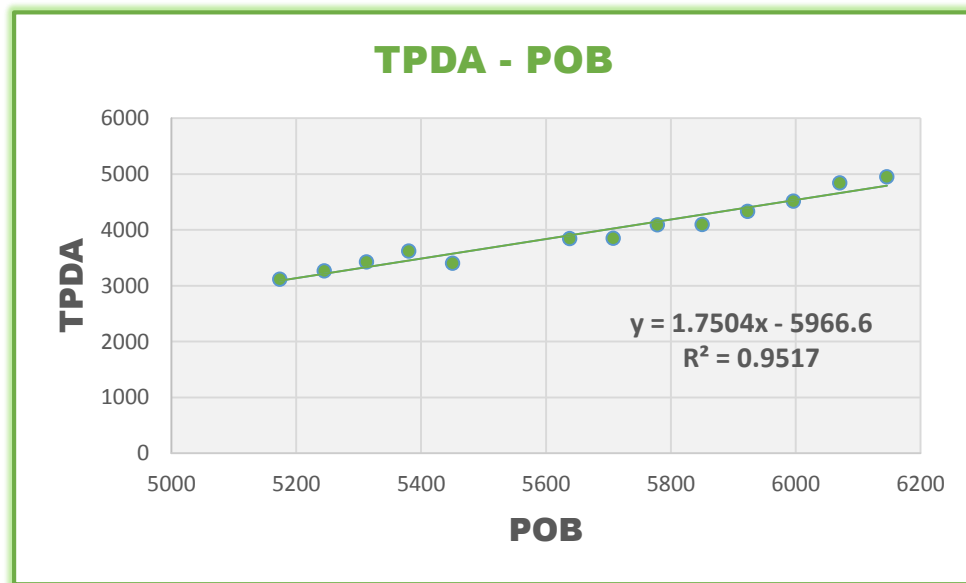
Por tanto se utilizará el mayor  $R^2$  para determinar las tasas de crecimiento del tráfico de carga, que son los vehículos de transporte que mueven la producción hacia los mercados nacionales e internacionales, lo mismo que los insumos para la producción.

**Tabla N°9: Correlación POB – TPDA (Estación No 107 Sébaco-Empalme San Isidro)**

| AÑO  | TPDA | POB (Miles) |
|------|------|-------------|
| 2001 | 3122 | 5173,9      |
| 2002 | 3272 | 5244,7      |
| 2003 | 3428 | 5312,7      |
| 2004 | 3622 | 5380,5      |
| 2005 | 3405 | 5450,4      |
| 2006 | 3849 | 5638        |
| 2007 | 3853 | 5707,9      |
| 2008 | 4092 | 5778,8      |
| 2009 | 4101 | 5850,5      |
| 2010 | 4334 | 5923,1      |
| 2011 | 4517 | 5996,6      |
| 2012 | 4843 | 6071        |
| 2013 | 4954 | 6146,4      |

***Fuente: Elaboración Propia***

**Figura N°3: Correlación POB – TPDA**



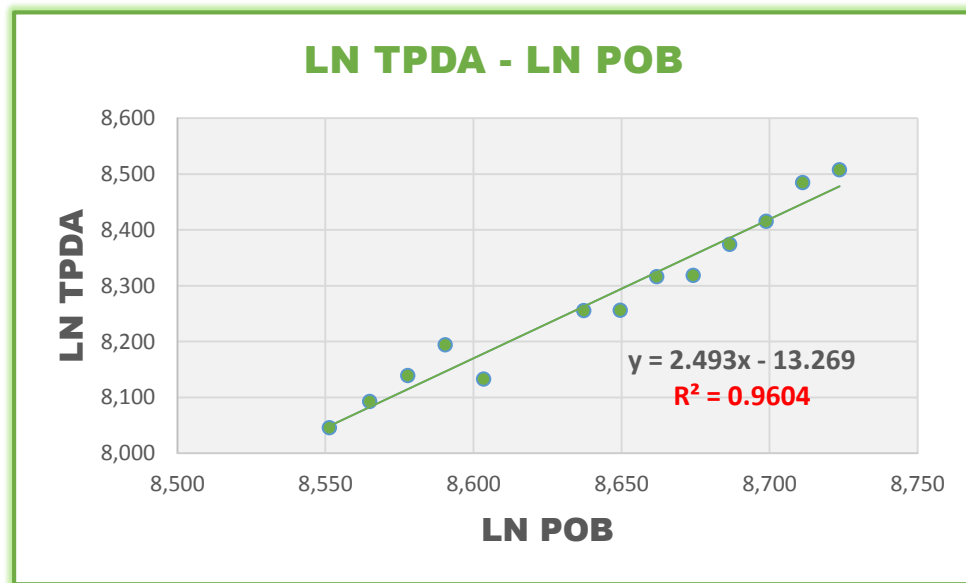
*Fuente: Elaboración Propia*

**Tabla N°10: Correlación LN POB – LN TPDA**

| AÑO  | LN TPDA | LN POB (Miles) |
|------|---------|----------------|
| 2001 | 8,046   | 8,551          |
| 2002 | 8,093   | 8,565          |
| 2003 | 8,140   | 8,578          |
| 2004 | 8,195   | 8,591          |
| 2005 | 8,133   | 8,603          |
| 2006 | 8,256   | 8,637          |
| 2007 | 8,257   | 8,650          |
| 2008 | 8,317   | 8,662          |
| 2009 | 8,319   | 8,674          |
| 2010 | 8,374   | 8,687          |
| 2011 | 8,416   | 8,699          |
| 2012 | 8,485   | 8,711          |
| 2013 | 8,508   | 8,724          |

*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura N°4: Correlación LN POB – LN TPDA**



***Fuente: Elaboración Propia***

La correlación POB – TPDA (Estación No 107 Sébaco-Empalme San Isidro) genera un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) igual a 0.9517.

La correlación LN POB – LN TPDA (Estación No 107 Sébaco-Empalme San Isidro) genera un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) igual a **0.9604**.

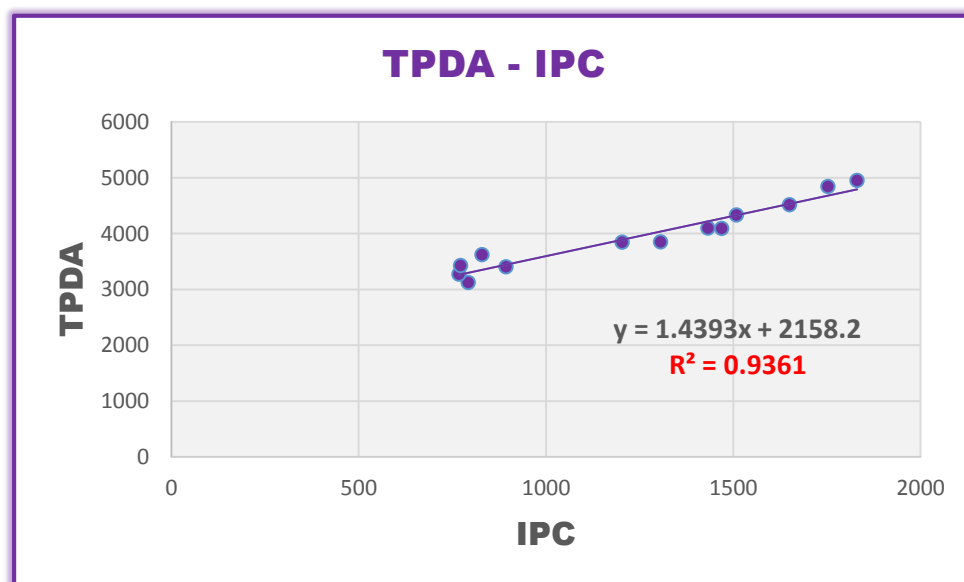
Por tanto se utilizará el mayor  $R^2$  para determinar las tasas de crecimiento del tráfico pesado de pasajeros, que son los vehículos de transporte que mueven la mayor cantidad de población a los diferentes destinos (laborales, compras, estudios, recreativos y de otras índoles).

**Tabla N°11: Correlación IPC – TPDA (Estación No 107 Sébaco-Empalme San Isidro)**

| AÑO  | TPDA | IPC (\$) |
|------|------|----------|
| 2001 | 3122 | 792,9    |
| 2002 | 3272 | 767,6    |
| 2003 | 3428 | 772      |
| 2004 | 3622 | 829,8    |
| 2005 | 3405 | 893,9    |
| 2006 | 3849 | 1203,7   |
| 2007 | 3853 | 1306,6   |
| 2008 | 4092 | 1469,4   |
| 2009 | 4101 | 1432,5   |
| 2010 | 4334 | 1509     |
| 2011 | 4517 | 1650,7   |
| 2012 | 4843 | 1753,5   |
| 2013 | 4954 | 1831,3   |

*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura N°5: Correlación IPC – TPDA**



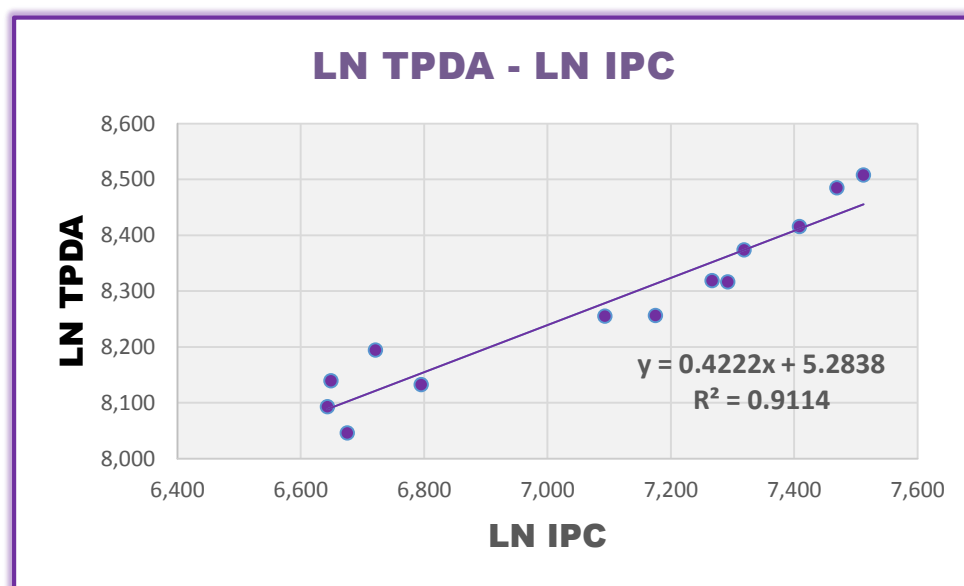
*Fuente: Elaboración Propia*

**Tabla N°12: Correlación LN IPC – LN TPDA**

| <b>AÑO</b> | <b>LN TPDA</b> | <b>LN IPC (\$)</b> |
|------------|----------------|--------------------|
| 2001       | 8,046          | 6,676              |
| 2002       | 8,093          | 6,643              |
| 2003       | 8,140          | 6,649              |
| 2004       | 8,195          | 6,721              |
| 2005       | 8,133          | 6,796              |
| 2006       | 8,256          | 7,093              |
| 2007       | 8,257          | 7,175              |
| 2008       | 8,317          | 7,293              |
| 2009       | 8,319          | 7,267              |
| 2010       | 8,374          | 7,319              |
| 2011       | 8,416          | 7,409              |
| 2012       | 8,485          | 7,469              |
| 2013       | 8,508          | 7,513              |

*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura N°6: Correlación LN IPC – LN TPDA**



*Fuente: Elaboración Propia*

La correlación IPC – TPDA (Estación No 107 Sébaco-Empalme San Isidro) genera un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) igual a **0.9361**.

La correlación LN IPC – LN TPDA (Estación No 107 Sébaco-Empalme San Isidro) genera un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) igual a 0.9114.

**Tabla N°13: Resultados de las Relaciones**

| CORRELACION      | ECUACION               | COEF. DE DETERMINACION | ELASTICIDAD  |
|------------------|------------------------|------------------------|--------------|
| TPDA - PIB       | $Y = 0.2167X + 2395.7$ | $R^2 = 0.9497$         | <b>0.216</b> |
| LN TPDA - LN PIB | $Y = 0.3625X + 5.0783$ | $R^2 = 0.9221$         |              |
| TPDA - IPC       | $Y = 1.4393x + 2158.2$ | $R^2 = 0.9361$         | <b>1.439</b> |
| LN TPDA - LN IPC | $Y = 0.4222x + 5.2838$ | $R^2 = 0.9114$         |              |
| TPDA - POB       | $Y = 1.7504x - 5966.6$ | $R^2 = 0.9517$         | <b>2.493</b> |
| LN TPDA - LN POB | $Y = 2.493x - 13.269$  | $R^2 = 0.9604$         |              |

**Fuente: Elaboración Propia**

Se consideran que las elasticidades son los coeficientes que acompañan a la variable X de la ecuación cuyo coeficiente de determinación ( $R^2$ ) se aproxime más a 1. Estas elasticidades afectarán las tasas de crecimiento para cada tipo de transporte, y se obtienen con la ecuación siguiente:

$$TC = \left[ \left( \frac{TPDA_i}{TPDA_0} \right)^{\frac{1}{n}} \right] - 1$$

**Dónde:**

**TC** = Tasa de Crecimiento

**TPDA<sub>i</sub>** = Tráfico Promedio Diario Actual.

$TPDA_0$  = Tráfico Promedio Diario Actual del Año Base.

$n$  = Diferencia de años.

**Tabla N°14: Tasas de Crecimiento.**

| AÑO                   | PIB (Millones \$) | POB (Miles)  | IPC (\$)      |
|-----------------------|-------------------|--------------|---------------|
| 2001                  | 4102,4            | 5173,9       | 792,9         |
| 2002                  | 4026              | 5244,7       | 767,6         |
| 2003                  | 4101,5            | 5312,7       | 772           |
| 2004                  | 4464,7            | 5380,5       | 829,8         |
| 2005                  | 4872              | 5450,4       | 893,9         |
| 2006                  | 6786,3            | 5638         | 1203,7        |
| 2007                  | 7458,1            | 5707,9       | 1306,6        |
| 2008                  | 8491,4            | 5778,8       | 1469,4        |
| 2009                  | 8380,7            | 5850,5       | 1432,5        |
| 2010                  | 8938,2            | 5923,1       | 1509          |
| 2011                  | 9898,6            | 5996,6       | 1650,7        |
| 2012                  | 10645,5           | 6071         | 1753,5        |
| 2013                  | 11255,6           | 6146,4       | 1831,3        |
| <b>TC (2001-2013)</b> | <b>8,07</b>       | <b>1,33</b>  | <b>6,65</b>   |
| <b>ELASTICIDAD</b>    | <b>0,2167</b>     | <b>2,493</b> | <b>1,4393</b> |
| <b>TC * ELAST</b>     | <b>1,75</b>       | <b>3,33</b>  | <b>9,57</b>   |

**Fuente: Elaboración Propia**

La tasa de crecimiento del transporte de carga es de **1.75%**, del transporte de pasajeros es de **3.33%** y la del tráfico Liviano es de **4.02%** (promedio de las tasas actuales de crecimiento del TPDA de la estación permanente), ya que la tasa de crecimiento obtenida de la correlación del TPDA de la estación permanente y el IPC es muy alta.

### **1.5 Tránsito de Diseño**

El tránsito de diseño determina la cantidad de vehículos que circularán en una vía para así proyectar la vida útil de la carretera.



Para convertir el volumen de tráfico obtenido de los conteos se usará el tránsito de diseño (TD) que es un factor fundamental para el diseño estructural de pavimentos. Este se obtiene a partir de la información básica suministrada por el Tránsito Promedio Diurno (TPDA), el Factor de Crecimiento (FC), Factor de Distribución (FD) y Factor Carril ( $f_c$ ). Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$T_D = TPDA * F_C * F_D * f_c * 365$$

Dónde:

$T_D$ : Tránsito de Diseño.

$TPDA$ : Tránsito Promedio Diario Anual.

$F_C$ : Factor Crecimiento.

$F_D$ : Factor de Distribución por Sentido.

$f_c$ : Factor por Distribución por Carril.

### I.5.1 Período de Diseño (PD)

Es la cantidad de años para la cual será diseñada la estructura de pavimento, por lo general varía dependiendo del tipo de carretera. De acuerdo a las características geométricas de la vía y al volumen actual de tránsito que circula por ella, elegimos 15 años para el período de diseño, ya que tenemos un TPDA de 721 vpd.

**Tabla N°15: Período de Diseño**

| Tipo de Carreteras     | Período de Diseño |
|------------------------|-------------------|
| Troncales Rurales      | 15-30 años        |
| Colectoras Sub urbanas | 10-20 años        |
| Colectoras Rurales     | 10-20 años        |

**Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras (SIECA)**

### I.5.2 Factor de Crecimiento ( $F_c$ )

Está en función de la tasa anual de crecimiento y el período de diseño de la estructura de pavimento. Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$F_c = \frac{[(1 + i)^n - 1]}{i}$$

Donde:

$F_c$ : Factor de Crecimiento.

$i$ : Tasa de Crecimiento.

$n$ : Período de Diseño en años.

*Factor de crecimiento para vehículos pesados de carga:*

$$F_c = \frac{(1 + 0.0175)^{15} - 1}{0.0175} = 16.984$$

*Factor de crecimiento para vehículos livianos:*

$$F_c = \frac{(1 + 0.0402)^{15} - 1}{0.0402} = 20.053$$

*Factor de crecimiento para vehículos pesados de pasajeros:*

$$F_c = \frac{(1 + 0.0333)^{15} - 1}{0.0333} = 19.055$$

### I.5.3 Factor Distribución por Dirección ( $F_D$ )

Este valor se puede deducir del estudio de tránsito (conteo), es la relación entre la cantidad de vehículos que viajan en una dirección y la cantidad de vehículos que viajan en la dirección opuesta, por lo general es 0.5 debido a que la cantidad de vehículos es la misma en ambos sentidos aunque hay casos en que puede ser mayor en una dirección que en otra. En este caso se trabajó con un factor direccional de 50%.

**Tabla N°16: Factor de Distribución por Dirección**

| N° de Carriles en ambas direcciones | Factor Direccional (%) |
|-------------------------------------|------------------------|
| 2                                   | 50                     |
| 4                                   | 45                     |
| 6 ó mas                             | 40                     |

*Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras (SIECA).*

#### **I.5.4 Factor Distribución por Carril ( $f_c$ )**

El carril de diseño es por el que circulan el mayor número de ejes equivalentes (ESAL'S). En este caso el factor de distribución por carril a usarse es 1.

**Tabla N°17: Factor de Distribución por Carril**

| N° de Carriles en una sola dirección | Factor de Distribución por Carril |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| 1                                    | 1                                 |
| 2                                    | 0.8-1                             |
| 3                                    | 0.60-0.80                         |
| 4                                    | 0.50-0.75                         |

*Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos.*

Con los factores ya obtenidos se muestra el tránsito de diseño en la siguiente Tabla:

**Tabla N°18: Tránsito de carril de diseño para el cálculo del ESAL'S**

| <i>Tipo de vehículos</i> | <i>Tránsito Actual (2015)</i> | <i>F.C.</i> | <i>Días del año</i> | <i>Transito de diseño</i> | <i>Factor por carril(fc)</i> | <i>Factor de Dirección (Fs)</i> | <i>Tránsito para el carril de diseño</i> |
|--------------------------|-------------------------------|-------------|---------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------------|--|
| Autos                    | 46                            | 20,05       | 365                 | 336.696,11                | 1                            | 0,50                            | 168.348,05                               |
| Jeep                     | 70                            | 20,05       | 365                 | 512.363,64                | 1                            | 0,50                            | 256.181,82                               |
| Camionetas               | 185                           | 20,05       | 365                 | 1.354.103,91              | 1                            | 0,50                            | 677.051,96                               |
| McBus<15 pas             | 2                             | 19,06       | 365                 | 13.910,41                 | 1                            | 0,50                            | 6.955,20                                 |
| MnBus 15-30 pas          | 3                             | 19,06       | 365                 | 20.865,61                 | 1                            | 0,50                            | 10.432,81                                |
| Bus                      | 16                            | 19,06       | 365                 | 111.283,28                | 1                            | 0,50                            | 55.641,64                                |
| C2                       | 74                            | 16,98       | 365                 | 458.749,98                | 1                            | 0,50                            | 229.374,99                               |
| C2 5 +ton                | 47                            | 16,98       | 365                 | 291.368,23                | 1                            | 0,50                            | 145.684,11                               |
| C3                       | 15                            | 16,98       | 365                 | 92.989,86                 | 1                            | 0,50                            | 46.494,93                                |
| C2R2                     | 6                             | 16,98       | 365                 | 37.195,94                 | 1                            | 0,50                            | 18.597,97                                |
| T2S1                     | 4                             | 16,98       | 365                 | 24.797,30                 | 1                            | 0,50                            | 12.398,65                                |
| T2S2                     | 4                             | 16,98       | 365                 | 24.797,30                 | 1                            | 0,50                            | 12.398,65                                |
| VC                       | 2                             | 16,98       | 365                 | 12.398,65                 | 1                            | 0,50                            | 6.199,32                                 |
| VA                       | 40                            | 16,98       | 365                 | 247.972,96                | 1                            | 0,50                            | 123.986,48                               |
|                          |                               |             |                     |                           |                              | <b>TOTAL</b>                    | <b>1.769.747</b>                         |

*Fuente: Elaboración Propia*

### **I.5.5 Índice de Serviciabilidad Inicial ( $P_o$ )**

Se define en función del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción. Se recomienda un índice de serviciabilidad de 4.2 para pavimento flexible, y de 4.5 para pavimentos rígidos, según el Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO-93 (cap.8.2.5 pp. 172). En el diseño de la estructura de Pavimento Semiflexible del tramo de carretera Estelí-Miraflor se trabajó con un valor de  $P_o = 4.2$

### **I.5.6 Índice de Serviciabilidad Final ( $P_t$ )**

Es el valor más bajo que puede ser tolerado por los usuarios de la vía antes de que sea necesario tomar acciones de rehabilitación, reconstrucción o repavimentación, y generalmente varía con la importancia o clasificación funcional de la vía cuyo pavimento se diseña, y son normalmente los siguientes:

Según el manual SIECA para vías locales, ramales, secundarias y agrícolas se toma un valor de  $P_t = 1.8 - 2.0$ . Además considerando que la AASHTO 93 (cap.8.2.5 pp.172) recomienda  $P_t = 2.0$  para caminos de tránsito menor.

En el Diseño de la Estructura de Pavimento Semiflexible del tramo de carretera Estelí-Miraflor se trabajó con un valor de  $P_t = 2.0$ .

### **I.5.7 Pérdida de Serviciabilidad ( $\Delta PSI$ )**

Es la diferencia que existe entre la serviciabilidad inicial y la serviciabilidad final. Entre mayor sea el  $\Delta PSI$  mayor será la capacidad de carga del pavimento antes de fallar, calculado con la siguiente ecuación:  $\Delta PSI = P_o - P_t$

En el Diseño de la Estructura de Pavimento Semiflexible del tramo de carretera Estelí-Miraflor se obtuvo un valor de  $\Delta PSI = 4.2 - 2$ ,  $\Delta PSI = 2.2$

### **I.5.8 Número Estructural Asumido (SN)**

Es el número abstracto que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido. El SN es utilizado para calcular el ESAL'S o W18 (cantidad de repeticiones esperadas de un eje de carga equivalente de 18 mil libras), se debe de asumir un valor inicial de SN. Para este Diseño se considera un valor  $SN = 5$ .

### I.5.9 Factor de Equivalencia (FESAL)

Conociendo la serviciabilidad final ( $P_t = 2$ ), el número estructural asumido ( $SN = 5$ ) y los pesos (las cargas se encuentran en kips) se obtienen los factores de equivalencia (FESAL) (**ver Anexo IX y X**). Tomando en cuenta que algunos valores de las cargas por ejes no se encuentran reflejados en las Tablas se procedió a interpolar dichos valores.

### I.5.10 Ejes Equivalentes (ESAL'S o W18)

Este se obtiene conociendo El Tránsito de Diseño (TD) y los factores de equivalencia (ESAL'S). Se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$ESAL'S \text{ o } W18 = TD * FESAL$$

El Tráfico pesado es el que mayor daño produce a la estructura de pavimento por lo que deberá de estimarse con la mayor precisión posible.

**Tabla N°19: Cálculo del ESA'L de Diseño**

| Calculo ESAL'S del carril de diseño |                     |            |                             |          |            |              |             |                |           |
|-------------------------------------|---------------------|------------|-----------------------------|----------|------------|--------------|-------------|----------------|-----------|
| Tipo de vehiculos                   | Peso X eje(Ton.met) | Peso X eje | Tipo de eje                 | To. 2015 | TD         | TD corregido | Factor ESAL | ESAL de diseño |           |
| Autos                               | 1                   | 2,2        | Simple                      | 46       | 168.348,05 | 168.349      | 0,00038     | 64             |           |
|                                     | 1                   | 2,2        | Simple                      |          |            |              | 0,00038     | 64             |           |
| Jeep                                | 1                   | 2,2        | Simple                      | 70       | 256.181,82 | 256.182      | 0,00038     | 98             |           |
|                                     | 1                   | 2,2        | Simple                      |          |            |              | 0,00038     | 98             |           |
| Camionetas                          | 1                   | 2,2        | Simple                      | 185      | 677.051,96 | 677.052      | 0,00038     | 258            |           |
|                                     | 2                   | 4,4        | Simple                      |          |            |              | 0,0034      | 2302           |           |
| McBus<15 pas                        | 2                   | 4,4        | Simple                      | 2        | 6.955,20   | 6.956        | 0,0034      | 24             |           |
|                                     | 4                   | 8,8        | Simple                      |          |            |              | 0,3346      | 2328           |           |
| MnBus 15-30 pas                     | 3                   | 6,6        | Simple                      | 3        | 10.432,81  | 10.433       | 0,0156      | 163            |           |
|                                     | 5                   | 11         | Simple                      |          |            |              | 0,482       | 5029           |           |
| Bus                                 | 5                   | 11         | Simple                      | 16       | 55.641,64  | 55.642       | 0,482       | 26820          |           |
|                                     | 10                  | 22         | Simple                      |          |            |              | 2,35        | 130759         |           |
| C2                                  | 5                   | 11         | Simple                      | 74       | 229.374,99 | 229.375      | 0,482       | 110559         |           |
|                                     | 10                  | 22         | Simple                      |          |            |              | 2,35        | 539031         |           |
| C2 5 +ton                           | 5                   | 11         | Simple                      | 47       | 145.684,11 | 145.685      | 0,482       | 70221          |           |
|                                     | 10                  | 22         | Simple                      |          |            |              | 2,35        | 342360         |           |
| C3                                  | 5                   | 11         | Simple                      | 15       | 46.494,93  | 46.495       | 0,482       | 22411          |           |
|                                     | 16                  | 35,2       | Doble                       |          |            |              | 1,26        | 58584          |           |
| C2R2                                | 4,50                | 12         | Simple                      | 6        | 18.597,97  | 18.598       | 0,212       | 3943           |           |
|                                     | 9                   | 20         | Simple                      |          |            |              | 1,57        | 29199          |           |
|                                     | 5                   | 14         | Simple                      |          |            |              | 0,338       | 6287           |           |
|                                     | 5                   | 14         | Simple                      |          |            |              | 0,338       | 6287           |           |
| T2S1                                | 5                   | 11         | Simple                      | 4        | 12.398,65  | 12.399       | 0,482       | 5977           |           |
|                                     | 9                   | 20         | Simple                      |          |            |              | 1,57        | 19467          |           |
|                                     | 9                   | 20         | Simple                      |          |            |              | 1,57        | 19467          |           |
| T2S2                                | 5                   | 11         | Simple                      | 4        | 12.398,65  | 12.399       | 0,482       | 5977           |           |
|                                     | 9                   | 20         | Simple                      |          |            |              | 1,57        | 19467          |           |
|                                     | 16                  | 35,2       | Doble                       |          |            |              | 1,26        | 15623          |           |
| VC                                  | 5                   | 11         | Simple                      | 2        | 6.199,32   | 6.200        | 0,482       | 2989           |           |
|                                     | 9                   | 20         | Simple                      |          |            |              | 1,57        | 9734           |           |
| VA                                  | 5                   | 11         | Simple                      | 40       | 123.986,48 | 123.987      | 0,482       | 59762          |           |
|                                     | 9                   | 20         | Simple                      |          |            |              | 1,57        | 194660         |           |
|                                     |                     |            | Total ESAL'S de diseño(W18) |          |            |              |             |                | 1.710.012 |

**Fuente: Elaboración Propia**

Para el Diseño de la carretera en estudio se obtuvo un valor ESAL's o W18 de  $1.710012 * 10^6$ ; este valor ESAL's servirá posteriormente para determinar el CBR de diseño, en el estudio geotécnico presentado a continuación.

# CAPÍTULO II

## ESTUDIO GEOTÉCNICO





## **II.1 Generalidades**

El Estudio Geotécnico tiene la finalidad de proporcionar insumos necesarios, como conocer las características físico-mecánicas del sub-suelo, mediante la realización de ensayos de laboratorio (Granulometría, Límites de Atterberg y CBR) y análisis de la información obtenida.

En este capítulo se detallaran los procedimientos llevados a cabo para la ejecución de este estudio, así como los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio practicados sobre la muestras de suelo.

Estas muestras fueron analizadas en laboratorio para determinar sus propiedades, entre ellas:

- ✓ Humedad.
- ✓ Valor de Soporte (CBR).
- ✓ Granulometría.
- ✓ Límites de Atterberg (Límite Líquido e índice plástico).
- ✓ Densidad (Proctor).

Finalmente se realizó un perfil estratigráfico para detallar los tipos de suelos y su profundidad, en base al trabajo de campo y los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio.

## **II.2. Ensayos de Suelos de Línea**

El muestreo de los sondeos de línea fue hecho por los sustentantes, con posteadora y barra, clasificándose el material en el sitio y al tacto. Se efectuó un total de catorce (14) sondeos manuales con profundidades máximas de 1.5 metros, limitados muchos de ellos por el basamento rocoso sub-yacente, y el cual en algunos sitios aflora a los lados del camino, en las cunetas del Proyecto.

La ubicación de los sondeos fue de cada cien metros entre uno y otro, ubicados alternamente al centro, izquierda y derecha de la carretera.

### **II.2.1. Resultado de los Ensayos sobre la Línea.**

Los suelos existentes a lo largo del tramo, de acuerdo a los sondeos realizados y a los ensayos de laboratorio efectuados, presentan de manera general las características siguientes:

Superficialmente existe una capa de rodamiento mayoritariamente de 20 a 30 cm de espesor, compuesta de gravas limosa con arena y de arenas limosas con grava tipo A-2-6 (con índices de grupo 0, 1 y 2) y A-2-4 (0), de color café claro. La plasticidad en general de estos suelos superficiales varía de 27% a 40% de límite Líquido, de 5 a 21% de índice de plasticidad.

Las partículas de los suelos gravosos pasan de 75% a 100% el tamiz de 2". Las partículas de los suelos arenosos limosos con grava pasan entre 94% y 100% el tamiz No. 4, y entre 17% y 35% el tamiz N°200. Entre los suelos de rodamiento, existen algunos que tienen una plasticidad del orden de 5% y 10% con clasificación HEB de A-2-4 (0).

El CBR obtenido de las muestras de rodamiento, compactadas al 90%, 95% y 100% Proctor Estándar, fue del orden de 8% a 20%, de 19% a 25% y de 31% a 36% respectivamente.

El CBR obtenido del grupo de muestras gravo arcillo limosos con arena de baja compresibilidad tipo A-2-4 (0), compactadas al 90%, 95% y 100% Proctor Estándar, fue de 20%, 25% y 35%, respectivamente. Su PVS máx. es de  $1723 \text{ kg/m}^3$  y su Humedad Óptima de 19.4%.

Debajo de los suelos descritos anteriormente, que fueron encontrados superficialmente, subyacen suelos gravo arcillosos con arena y areno arcillosos con grava tipo A-2-7 con Índice de Grupo de 2 y 3 (sondeos número 5, 10, 11 y 14). El límite líquido de este tipo de suelo varía de 41% a 45% y su índice de plasticidad de 20% a 26%.

También subyacen algunos suelos arcillosos y limo arcillosos de alta compresibilidad tipo A-7-5 (con Índice de Grupo de hasta 13), A-7-6 (12), A-6 (9), A-5 (5). Tienen de 40% a 50% de Límite Líquido, de 5 a 22% de Índice de Plasticidad, y sus partículas pasan de 85% a 100% el tamiz de 1/2" en el caso de los suelos gruesos tipo A-2-7, 98 y 100% pasan el tamiz N°4 en el caso de los suelos finos arcillosos, pasan de 67 a 75% el tamiz N° 200.

El CBR obtenido de grupos de muestras de suelos gravo arcillosos del tipo A-2-7, compactadas al 90%, 95% y 100% Proctor Estándar, fue del orden de 9% a 11%, 15% a 17% y de 20% a 28% respectivamente. El CBR obtenido de grupos de muestras de los suelos arcillosos, compactadas al 90%, 95% y 100% Proctor Estándar, fue del orden de 3% a 8%, de 5% a 10% y de 7% a 14% respectivamente.

Por otro lado, cabe señalar que muchos sondeos no alcanzaron la profundidad nominal de 150 cm debido a la existencia de suelos densos muy consolidados o basamento rocoso (sondeos número 7, 8, 9, 12 y 14). En el **Anexo VII** se presenta la estratigrafía de suelo, la cual resume los resultados encontrados en el proyecto.

### **II.3. Ensayos de Bancos**

Se tomaron muestras de tres (3) Bancos de Préstamo, los cuales son los siguientes:

**Tabla N°20: Resultados de Bancos de Préstamo.**

| N° | Nombre            | Ubicación           |
|----|-------------------|---------------------|
| 1  | Coyolito Miraflor | Est. 3+800          |
| 2  | El Diamante N° 1  | Municipio de Estelí |
| 3  | Las Viejitas      | Est. 14+500         |

*Fuente: EMCOSE, EDICO.*

Los materiales obtenidos de los Bancos de Préstamo, de acuerdo a la exploración realizada y a los ensayos de laboratorio efectuados, presentan de manera resumida las características siguientes:

**Tabla N°21: Características de los materiales de los Bancos**

| N° | Nombre del Banco    | Pasa el Tamiz |       |        | LL<br>(%) | IP<br>(%) | CBR<br>al 95% |
|----|---------------------|---------------|-------|--------|-----------|-----------|---------------|
|    |                     | N° 10         | N° 40 | N° 200 |           |           |               |
| 1  | Coyolito Miraflor   | 17            | 13    | 11     | 55        | 19        | 16            |
| 2  | El Diamante N° 1    | 84            | 56    | 33     | 34        | 9         | 39,6          |
| 3  | <b>Las Viejitas</b> | 42            | 25    | 10     | 22        | 5         | <b>80</b>     |

*Fuente: EMCOSE, EDICO.*

### **Banco de Préstamo N°.1: Coyolito Miraflor**

Este Banco está ubicado en la Estación 3+800 en Miraflor, según la clasificación AASHTO en base a los estudios realizados y a los resultados obtenidos, el suelo corresponde al grupo A-2-7 (grava y arena arcillosa o limosa), con Índice de Grupo igual a 0, el material considerado como bueno tiene una densidad de  $1757 \text{ kg/m}^3$ . Se recomienda mezclarlo con un material arenoso para bajar el índice de plasticidad.

## **Banco de Préstamo N°.2: El Diamante N° 1**

La muestra de suelo, de esta fuente de materiales, corresponde a un material con predominio de fracción gruesa, el cual está constituido por arenas limosas, de color café. En el sistema unificado de clasificación de suelos, **SUCS**, se clasifica del tipo **SM**. Según el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, se clasifica del tipo **A-2-4**, con índice de grupo de cero. El CBR es de 39.6%, el resultado del ensaye de compactación Proctor es de 1,421 Kg/m<sup>3</sup>, **el abundamiento es 32.8% o bien el factor de abundamiento (F.A) es 1.328.**

## **Banco de Préstamo N°.3: Las Viejitas**

El Banco está ubicado en la Est. 14+500 en Yalí, sus dimensiones aproximadas (largo x alto x ancho) son de 64x10.5x30 m, para un volumen aproximado de 20160 m<sup>3</sup>. La muestra de suelo de esta fuente de materiales, está compuesta por fragmentos de roca, grava y arena. Según el sistema de clasificación de suelos de la AASHTO, se clasifica del tipo A-1-a, con índice de grupo de cero. El CBR es de 80% calificado como adecuado para utilizarse como base granular.

### **I.3.1 Análisis de Bancos de préstamos.**

De acuerdo a los resultados obtenidos se considera utilizar como fuente de materiales el Banco Las Viejitas, debido a que su granulometría, su índice de plasticidad y resistencia (CBR al 95%) se ajusta a lo establecido en la sección II del **Art.1003.23 de la NIC-2000**, en donde se plantean los requisitos que debe cumplir un material utilizado como base granular, después de colocado y compactado.

**Tabla N°22: Requisitos que debe cumplir el material de Terracería, para ser utilizado como Base.**

| Prueba  | Requerimiento mínimo<br>NIC-2000 | Banco de Préstamo<br>Las Viejitas | Valoración    |
|---|----------------------------------|-----------------------------------|---------------|
| Graduación  | Cuadro 1003-10                   | Cumple                            | <b>Cumple</b> |
| Índice de Plasticidad   | Máx. 10%                         | 5%                                | <b>Cumple</b> |
| Límite Líquido  | Máx. 25%                         | 22%                               | <b>Cumple</b> |
| CBR al 95% de AASHTO Modificado (AASHTO T-180) y 4 días de saturación | Min. 80%                         | <b>80%</b>                        | <b>Cumple</b> |

*Fuente: Especificaciones Generales para la construcción de caminos, calles y puentes NIC-2000*

**Tabla N°23: CUADRO 1003-10 Requisitos Graduación de Agregados para el Mejoramiento de la Base**

| Designación del tamiz (mm) | Porcentajes en Peso que pasan por tamices de mallas cuadradas, según AASHTO T 27 |       |       |
|----------------------------|--|-------|-------|
|                            | A  | B     | C     |
| 75                         | 100  | ---   | ---   |
| 37.5                       | ---  | 100   | ---   |
| 25                         | ---  | ---   | 100   |
| 4.75                       | 30-70  | 30-70 | 40-80 |
| 75 µm                      | 0-15   | 0-15  | 5-20  |

*Fuente: Especificaciones Generales para la construcción de caminos, calles y puentes NIC-2000*

## II.4 Cálculo del CBR de Diseño

En el ensayo CBR (California Bearing Ratio): Ensayo de Relación de Soporte de California mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y sirve para poder evaluar la calidad del terreno para sub rasante, sub base y base de pavimentos. Se efectúa bajo las condiciones controladas de humedad y densidad, y esta normado por la ASTM-D1883 y por la AASHTO T-193.

**Sub-rasante:** Es la capa de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no sea afectada por las cargas de diseño que corresponde al tránsito previsto. En la siguiente tabla se presentan las especificaciones para sub rasante:

**Tabla N°24: Especificaciones para terraplenes y materiales para sub rasante**

| N° | Propiedad         | Terraplenes  | Capa Sub-Rasante  | Metodología                      |
|----|-------------------|--|---|----------------------------------|
| 1  | % de malla N° 200 | 40% máx.   | 30% máx.  | AASHTO T-11                      |
| 2  | Límite Líquido    | 40% máx.   | 30% máx.  | AASHTO T-89                      |
| 3  | Límite Plástico   | 15% máx.   | 10% máx.  | AASHTO T-90                      |
| 4  | CBR               | 10% mín.   | 20% mín.  | AASHTO T-193                     |
| 5  | Compactación      | 95% mín. del peso volumétrico seco máx. obtenido por medio de la prueba proctor modificado AASHTO-99 | 95% mín. del peso volumétrico seco máx. obtenido por medio de la prueba proctor modificado AASHTO-T-180 | AASHTO T-191 y/o T-238 (in situ) |

**Fuente: Especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes  
NIC-2000**

El método más difundido para calcular el CBR de diseño es el propuesto por el instituto de Asfalto, el cual recomienda tomar un valor total que el 60%, el 75%, o el 87.5% de los valores individuales obtenidos que sea iguales o mayor que él, de acuerdo con el tránsito que se espera circule por el pavimento, tal y como se indica a continuación:

**Tabla N°25: Criterio del Instituto de Asfalto para determinar CBR de Diseño**

| Cargas Equivalentes Totales (Esal's) | Percentil de Diseño (%) |
|--------------------------------------|-------------------------|
| < de 10,000 ESAL's                   | 60                      |
| Entre 10,000 y 1,000,000 ESAL's      | 75                      |
| > de 1,000,000 ESAL's                | 87,5                    |

*Fuente: Manual AASHTO-93 Design Requirements.*

Tomando en cuenta que el  $ESAL's$  o  $W_{18} = 1710012$ , para nuestro diseño utilizaremos un percentil de **87.5%**.

En la siguiente tabla se muestra la acumulación de los valores de CBR de diseño del material existente en la sub-rasante, la cual se consideró que está a una profundidad de 15 cm por debajo del nivel del terreno natural, ya que es donde se encuentra un estado de suelo más uniforme.

**Tabla N°26: CBR Sub-rasante de cada Sondeo realizado en la vía.**

| Sondeo N° | CBR Sub-rasante |
|-----------|-----------------|
| 1         | 23              |
| 2         | 20              |
| 3         | 24              |
| 4         | 19              |
| 5         | 22              |
| 6         | 21              |
| 7         | 20              |
| 8         | 19              |
| 9         | 24              |
| 10        | 25              |
| 11        | 23              |
| 12        | 25              |
| 13        | 23              |
| 14        | 24              |

*Fuente: Elaboración Propia.*

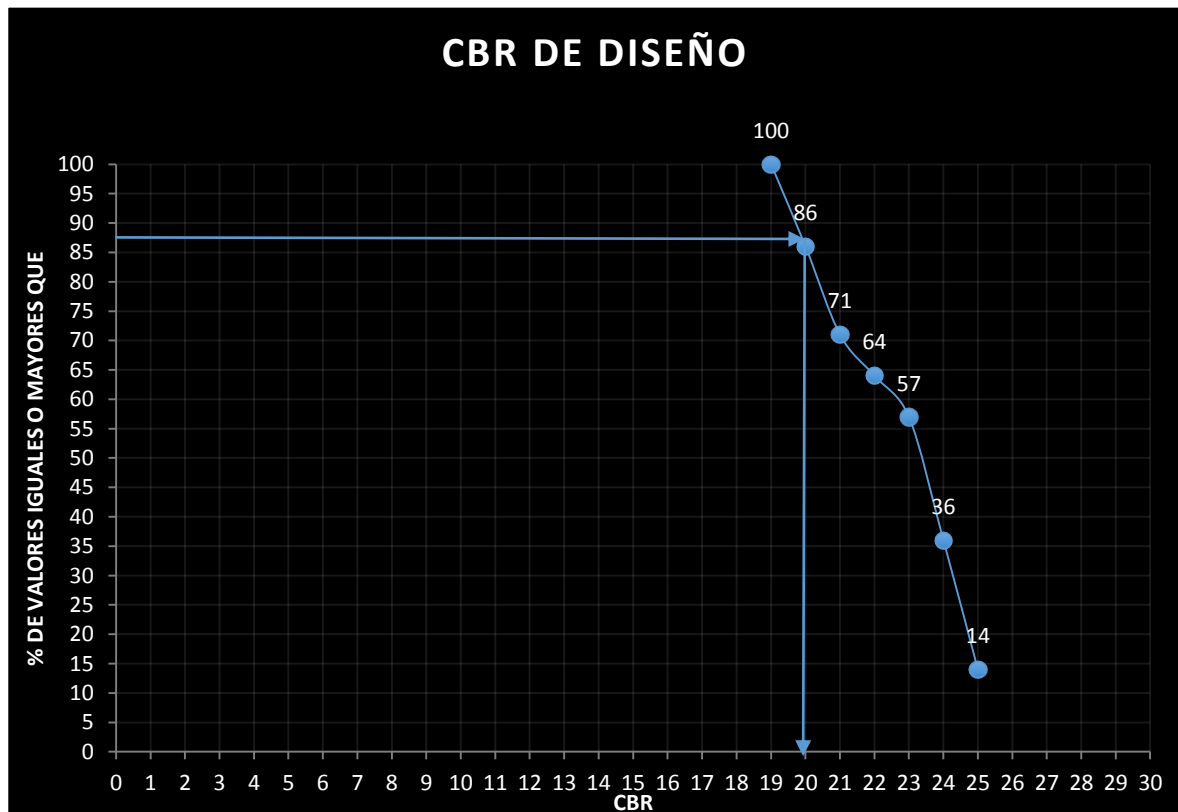


Tabla N°27: Acumulación CBR Sub-rasante

| CBR | Cantidad de valores iguales o mayores | Porcentaje % | Frecuencia |
|-----|---------------------------------------|--------------|------------|
| 19  | 14                                    | 100          | 2          |
| 20  | 12                                    | 86           | 2          |
| 21  | 10                                    | 71           | 1          |
| 22  | 9                                     | 64           | 1          |
| 23  | 8                                     | 57           | 3          |
| 24  | 5                                     | 36           | 3          |
| 25  | 2                                     | 14           | 2          |

*Fuente: Elaboración Propia.*

Figura N°7: CBR de Diseño



*Fuente: Elaboración Propia.*

Aplicando el método del Instituto del Asfalto que recomienda para un ESAL's  $> 10^6$  un valor de percentil de CBR correspondiente al 87.5% se obtuvo un CBR de diseño para la sub-rasante de **20%**. Se asume que este porcentaje se establece como una muestra representativa de los valores de CBR encontrados en los sondeos de línea y servirá para determinar posteriormente los espesores de la estructura de pavimento semiflexible a través de la AASHTO 93.

# CAPÍTULO III

## DISEÑO DE PAVIMENTO



### **III.1. Generalidades**

El método de Diseño utilizado fue la Guía de Diseño de Espesores de pavimento de la AASHTO 1993. Se ha elegido el método AASHTO, porque a diferencia de otros métodos introduce el concepto de Serviciabilidad en el Diseño de Pavimentos como una medida de su capacidad para brindar una superficie lisa y suave al usuario. Seguidamente se utilizaron los nomogramas de la AASHTO, y criterios de diseño ajustados a la Buena Práctica en Ingeniería (BPI).

El método toma en cuenta el Estudio Geotécnico, el cual tiene la finalidad de proporcionar los insumos necesarios, como conocer las características físico-mecánicas del sub-suelo a lo largo de la ruta, efectuar ensayos de laboratorio (Granulometría, Límites de Atterberg y CBR) y análisis de la información obtenida. Además, toma en cuenta el tráfico, el clima y drenaje en el área del proyecto.

También se incluyó la determinación de las características de Bancos de Materiales, necesarios para la construcción del Proyecto.

La exploración de campo se realizó por medio de sondeos manuales hechos cada 100 metros, alternadas al centro, izquierda y derecha de la carretera. Los resultados del trabajo de campo, métodos de ensayos de laboratorio, como la descripción de los suelos de línea y de Banco de Materiales, se presentan en el Estudio de Suelos hecho para este proyecto, complementario a este Informe de Diseño de Espesores de Pavimento.

## III.2. Consideraciones del Diseño AASHTO 93:

### III.2.1. Confiabilidad (R)

Es un factor de seguridad que se emplea en el diseño de un pavimento, depende de diversos factores, entre ellos la calidad del estudio de tránsito realizado, la calidad de los materiales, calidad de los estudios de muestreos de suelos y calidad del trabajo de construcción, lo que nos guiará a clasificar de manera funcional la carretera y a la vez el nivel de confiabilidad que presentará esta vía.

El nivel de confiabilidad se obtiene de seleccionar el tipo de camino como colectoras y ubicada en zona rural, el cual se encuentra en un rango entre 75-95%. En este caso se tomará una confiabilidad de 85%.

**Tabla N°28: Niveles de Confiabilidad**

| Tipo de Camino                    | Nivel de Confiabilidad Recomendada |              |
|-----------------------------------|------------------------------------|--------------|
|                                   | Zona Urbana                        | Zona Rural   |
| Rutas Interestatales y Autopistas | 85-99.99                           | 80-99.99     |
| Arterias Principales              | 80-99                              | 75-95        |
| <b>Colectoras</b>                 | 80-95                              | <b>75-95</b> |
| Locales                           | 50-80                              | 50-80        |

***Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA.***

### III.2.2. Desviación Estándar ( $S_o$ )

Este parámetro está directamente ligado al nivel de confiabilidad elegido para la vía. Corresponde a la función de posibles variaciones en las estimaciones de tránsito (cargas y volúmenes) y comportamiento del pavimento a lo largo de su vida de servicio. Por consiguiente se tomará un valor de  $S_o = 0.45$  considerando posibles variaciones en el comportamiento del tránsito.

**Tabla N°29: Desvío Estándar según las Condiciones de Diseño**

| Condiciones de Diseño  | Desvío Estándar             |
|--|-----------------------------|
| Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito | 0.34 (Pavimentos Rígidos)   |
|  | 0.44 (Pavimentos Flexibles) |
| Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito | 0.39 (Pavimentos Rígidos)   |
|  | 0.49 (Pavimentos Flexibles) |

*Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos.*

### III.2.3. Coeficiente de Drenaje ( $m$ )

El drenaje de agua en los pavimentos es un aspecto importante a considerar en el diseño de las carreteras. De lo contrario el exceso de agua combinado con el crecimiento de volúmenes de tránsito y cargas podrían anticipar los daños a la estructura del pavimento.

La calidad del drenaje está expresado en la fórmula del número estructural como ( $m_i$ ), éste coeficiente depende de la capacidad que tiene el material para drenar el agua y del tiempo que pasa expuesto a la saturación.

En este caso se considera un “m unitario” dado que se asume excelente capacidad para drenar el agua de la vía en cada una de las capas que conforman el pavimento.

**Tabla N°30: Valores de  $m_i$  Recomendados**

| Calidad de Drenaje | Porcentaje de Tiempo al cual está expuesta la Estructura del Pavimento a Niveles de Humedad Próxima a la Saturación |           |           |               |
|--------------------|---|-----------|-----------|---------------|
|                    | Menor del 1%  | 1-5%      | 5-25%     | Mayor del 25% |
| Excelente          | 1.40-1.35   | 1.35-1.30 | 1.30-1.20 | 1.20          |
| Buena              | 1.35-1.25   | 1.25-1.15 | 1.15-1.00 | 1.00          |
| Regular            | 1.25-1.15   | 1.15-1.05 | 1.00-0.80 | 0.80          |
| Pobre              | 1.15-1.05   | 1.05-0.80 | 0.80-0.60 | 0.60          |
| Muy Pobre          | 1.05-0.95   | 0.95-0.75 | 0.75-0.40 | 0.40          |

*Fuente: Manual AASHTO-93 Design Requirements. Tabla X, pág. 3-39*


### III.2.4. CBR de Diseño

La ASTM denomina a este ensayo, simplemente como “Relación de Soporte” y está normado con el número ASTM D 1883-73 y en la AASHTO con el número T-193. El CBR de diseño del tramo Estelí-Miraflor, es de 20%. Este se obtuvo con un percentil de 87.5%.

### III.2.5. Módulo de Resilencia (MR)

La base para la caracterización de los materiales de sub-rasante en este método es el Módulo Resiliente, el cual es una medida de la propiedad elástica de los suelos y se determina con un equipo especial que no es de fácil adquisición, por lo tanto se han establecido correlaciones para calcularlo a partir de otros ensayos, como el CBR.

**Tabla N°31: Valores de CBR**



| Valores de CBR | Consideración          |
|----------------|------------------------|
| CBR < 10 %     | MR = 1500*CBR          |
| CBR > 10 %     | MR = 4326*Ln (CBR)+241 |

**Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993.**

En este caso se obtuvo un CBR de Diseño para la sub rasante de 20%, utilizaremos el segundo criterio para calcular el módulo Resiliente de la sub rasante, por tanto:

$$MR = 4326 * Ln (CBR) + 241$$

$$MR = 4326 * Ln (20) + 241$$

$$MR = 13200.54 \text{ Psi}$$

El Módulo Resiliente de la sub rasante es de 13200.54 Psi.

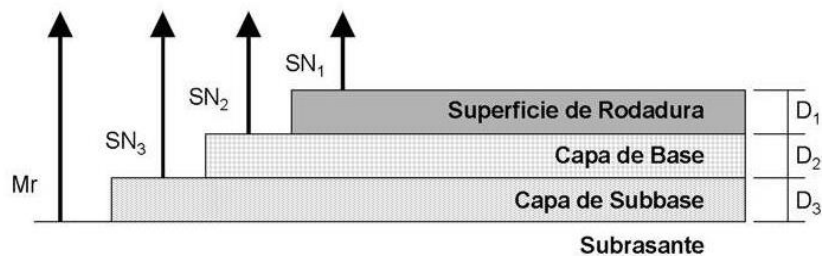
### III.2.6 Coeficientes Estructurales

Es una medida de la habilidad relativa de una unidad de espesor de un material/mezcla determinado, para servir como un componente estructural de un pavimento. Los coeficientes estructurales ( $a_1$ ) que son empleados en el Método AASHTO 93, los cuales utilizaremos en el diseño de la carretera Estelí-Miraflor son los siguientes:

El coeficiente estructural de la capa de rodamiento (Adoquín)  $a_1$  es de 0.45, este es un valor que ya está dado en el Manual Centroamericano Para el Diseño de Pavimentos, Capítulo 7, pág. 107. Ya que el espesor del adoquín siempre será de 10 cm, por tanto  $a_1 = 0.45$ .

El SN es un número abstracto, que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido por una combinación dada de soporte del suelo ( $M_R$ ), del tránsito total ( $W_{18}$ ), de la serviciabilidad final, y de las condiciones ambientales.

**Figura N°8: Estructura Típica de Pavimentos**



Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1,993

Para el cálculo del número estructural  $SN_1$  se decidió asumir un espesor de adoquín de 10 cm lo que equivale a 4 pulgadas, entonces:

$$SN_1^* = a_1 * D_1$$

$$SN_1^* = 0.45 * 4"$$

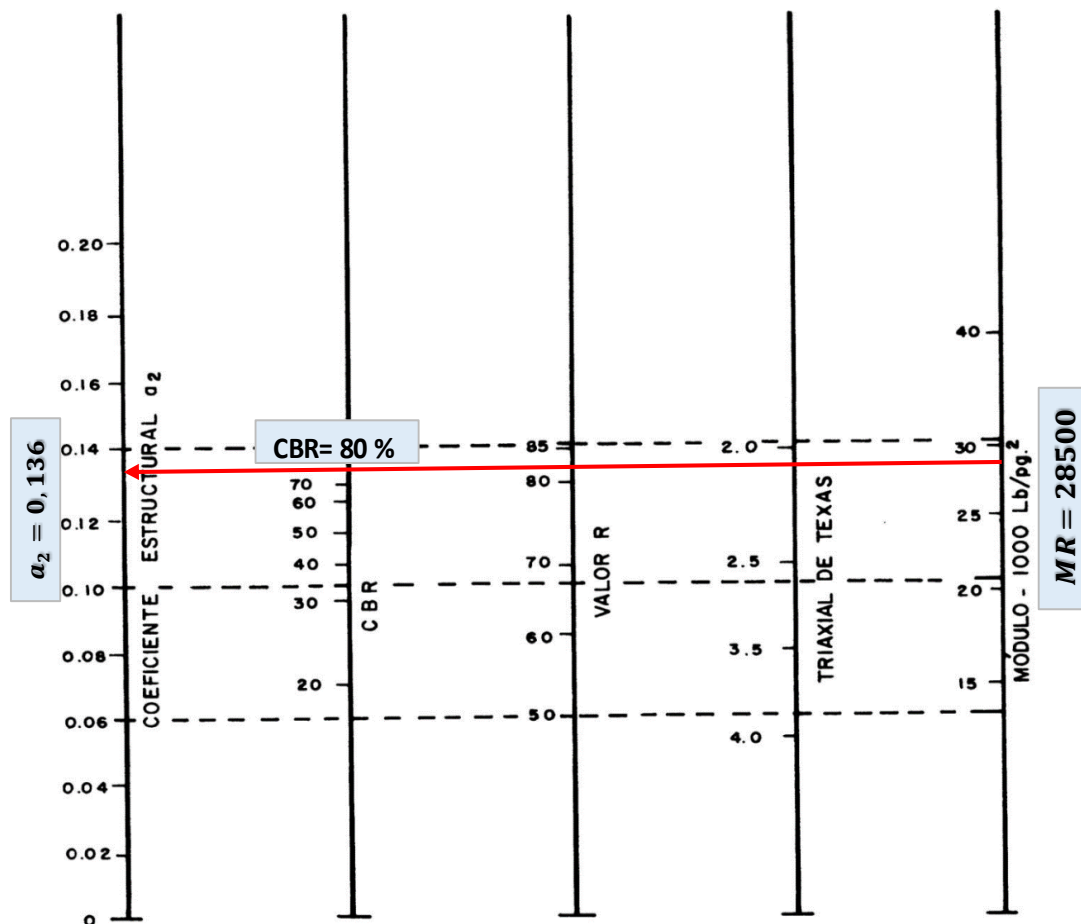


$$SN_1^* = 1.8$$

El valor del coeficiente estructural de capa de base granular  $a_2$  se determina con el uso del nomograma de la guía AASHTO, en el art. 1003.03 de la NIC-2000 se especifica que el CBR del material a utilizar debe ser igual o mayor del 80%; el banco de material “Las Viejitas” cumple con este criterio ya que su CBR es de 80%, por lo tanto no es necesario utilizar base estabilizada con cemento entonces:

$$a_2 = 0.136; MR = 28,500 \text{ Psi}$$

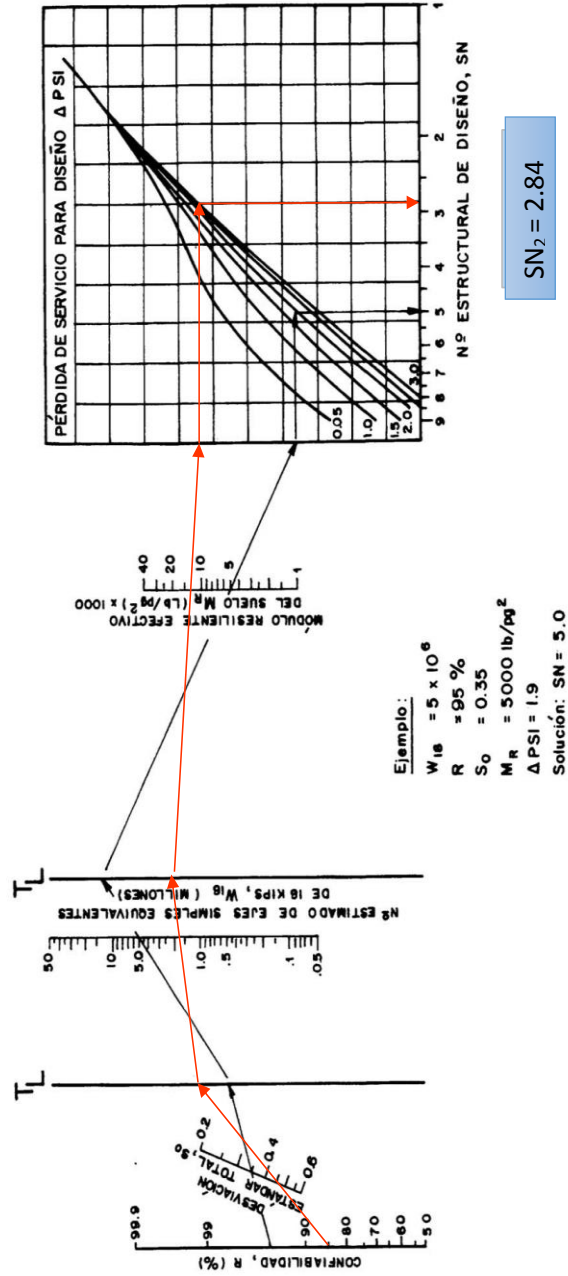
**Figura N°9: Coeficiente Estructural  $a_2$ , Módulo Resiliente, para Base Granular**



Fuente: AASHTO 93. Figura 8, pág. 3-34

# ECUACIÓN DEL NOMOGRAMA

$$\log_{10} W_{18} = Z_R * S_0 + 9.36 * \log_{10} (SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07$$



**Figura 5.33** – Gráfica de diseño para pavimento flexible basada en valores promedio de los diferentes datos de entrada.

El número estructural requerido según el nomograma es  $SN_{req} = 2.84$

#### Cálculo del Espesor de la Base $D_2$

$$D_2 = \frac{(SN_2 - SN_1^*)}{a_2 m_2} = \frac{(2.84 - 1.8)}{0.136 * 1} = 7.7 \approx 8 \text{ pulgadas} \therefore \text{cumple con el espesor mínimo}$$

$$\therefore \text{el } SN_2^* \text{ absorbido por la base es } = a_2 * m_2 * D_2 = 0.136 * 1 * 7.7 = 1.05$$

$$COMPROBACION: SN_1^* + SN_2^* \geq SN_{req}$$

$$1.8 + 1.05 \geq 2.84$$

$$2.85 \geq 2.84 \text{ OK!}$$

En este caso las cargas equivalentes está en el intervalo de 500,000 – 2,000,000 por lo tanto el espesor mínimo es de 15 cm según la siguiente tabla:

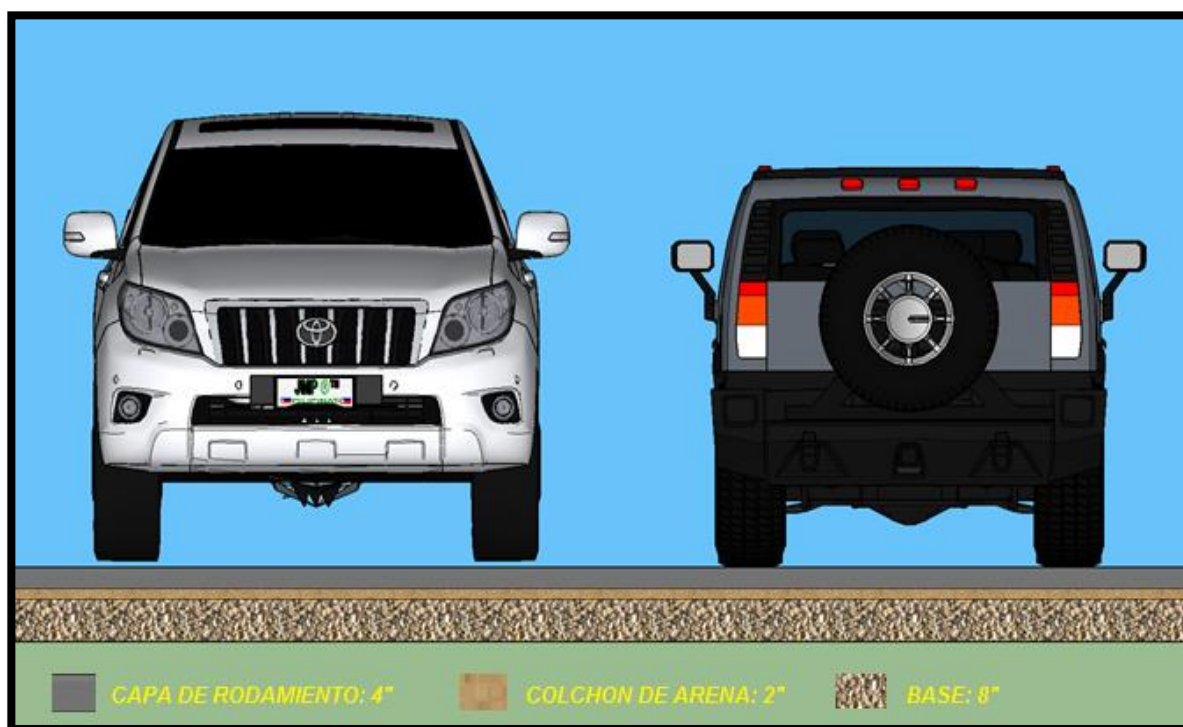
**Tabla N°32: Espesores mínimos para capas de concreto asfáltico y base, en función del tráfico esperado.**

| Cargas equivalentes<br>(período diseño)          | Espesor mínimo (cm)                   |                                |
|--|---------------------------------------|--------------------------------|
|  | Mezcla asfáltica<br>(todas las capas) | Base y/o sub-<br>Base granular |
| < 50.000   | 2,5 (*)                               | 10,0                           |
| 50.000 - 150.000                                 | 5,0                                   | 10,0                           |
| 150.000 - 500.000                                | 6,25                                  | 10,0                           |
| 500.000 - 2.000.000                              | 7,5                                   | 15,0                           |
| 2.000.000 - 7.000.000                            | 8,75                                  | 15,0                           |
| > 7.000.000                                      | 10,0                                  | 15,0                           |
| (*) o tratamiento superficial, según tipo de vía |                                       |                                |

Fuente: AASHTO-93, Tabla XI, pág. 3-46.

En base al análisis y a los resultados obtenidos, la estructura de pavimento del tramo de carretera Estelí-Miraflor quedará conformada por una Base de 8 pulgadas, colchón de arena de 2 pulgadas y una capa de rodamiento de 4 pulgadas.

**Figura N°11: Estructura de pavimento del tramo de carretera Estelí-Miraflor.**



*Fuente: Elaboración Propia*

### **III.3 Verificación de resultados con el Programa WinPAS**

Como alternativa y a manera de verificación, se calculan los valores de los espesores de las capas de la estructura de pavimento empleando el programa WinPAS.

**Figura N°12: Inserción de datos en el software WinPAS**

The screenshot displays the WinPAS software interface. The main window has a menu bar with the following options: Project ID, Traffic, Design / Evaluation (selected), Overlays, Life Cycle Costing, Reports, Lists, and PAS. Below the menu bar, there are three radio button options for pavement design: Rigid Pavement Design / Evaluation, Asphalt Pavement Design / Evaluation (which is selected), and Both Rigid and Asphalt Design / Evaluation. An OK button is located to the right of these options.

Overlaid on the main window is a smaller dialog box titled 'Flexible Design Inputs'. This dialog box contains several input fields with numerical values and a unit 'psi' for the Soil Resilient Mod. field. The fields are:

| Field                       | Value        |
|-----------------------------|--------------|
| Structural Number           | 2.84         |
| Design ESAL                 | 1,710,012    |
| Reliability                 | 85.00        |
| Overall Deviation           | 0.45         |
| Soil Resilient Mod.         | 13,200.5 psi |
| Initial Serviceability, Po  | 4.20         |
| Terminal Serviceability, Pt | 2.00         |

Below the input fields, there is a 'Layer Determ.' button. At the bottom of the dialog box, there is a 'Solve For' section with a text box containing 'Press Solve For' and a 'Solve For' button. To the right of the input fields, there are two buttons: 'Cross Section' and 'OK'. A help icon (a question mark inside a circle) is also present next to the 'OK' button.

***Fuente: Elaboración Propia.***

**Figura N°13: Verificación de resultados con el software WinPAS**

WinPAS

Project ID | Traffic | **Design / Evaluation** | Overlays | Life Cycle Costing | Reports | Lists | PAS

☐ Rigid Pavement Design / Evaluation OK

**Flexible Pavement Layer Thickness Determination** OK

|  | Layer Material | Layer Coefficient, a | Drainage Coefficient, | Layer Thickness | Layer Struct No, S <sub>Ni</sub> | Additional Thickness |
|--|----------------|----------------------|-----------------------|-----------------|----------------------------------|----------------------|
|  |                | 0.45                 | 1.00                  | 4.00            | 1.80                             | -0.0                 |
|  |                | 0.14                 | 1.00                  | 7.70            | 1.05                             |                      |
|  |                |                      |                       |                 |                                  |                      |
|  |                |                      |                       |                 |                                  |                      |
|  |                |                      |                       |                 |                                  |                      |
|  |                |                      |                       |                 |                                  |                      |

$\Sigma$  SN **2.85** OK

SN Required **2.84**

Layer Determ.

Solve For Press Solve For Solve For

**Fuente: Elaboración Propia.**

## CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados inicialmente se ha concluido que:

➤ En el Estudio de Tráfico

- Se obtuvo un TPDA de 721 vehículos/día.
- Se utilizó una tasa de crecimiento para el Tráfico Liviano del 4.02%, para el Transporte de Carga de 1.75% y para el Transporte de Pasajeros de 3.33%.
- Se obtuvo el número de repeticiones por eje equivalente (ESAL's) o  $W_{18} = 1,710,012$  y por ende el percentil de diseño de 87.5%.

➤ En el Estudio Geotécnico

- Los suelos existentes a lo largo del tramo está compuesta en su mayoría de grava con arenas limosas o arcillosas del tipo A-2-6.
- Como fuente de materiales se consideró utilizar el Banco Las Viejitas, debido a que cumple su granulometría, su índice de plasticidad y resistencia (CBR al 95% de 80%).
- Se obtuvo un CBR de diseño para la sub-rasante de 20%.

➤ En el Diseño de Pavimento

- Los coeficientes de capa obtenidos fueron:  $a_1 = 0.45$  este coeficiente estructural ya está definido para la capa de rodamiento (Adoquín) y  $a_2 = 0.136$  haciendo uso del nomograma en función del Módulo Resiliente para base granular.
- Los espesores resultantes fueron de: 4 pulgadas para la carpeta de rodamiento (adoquín), 5 cm colchón de arena y 8 pulgadas para la base.

## RECOMENDACIONES

- ✓ Se debe realizar aforos vehiculares de manera continua, con el propósito de obtener un mejor análisis del comportamiento del tránsito y así poder hacer una comparación con el número de cargas estimado en el diseño, para establecer medidas de control para el daño.
- ✓ En la elaboración de la capa base, se debe constatar que el material no este contaminado, que esté libre de cualquier otro material, ya sea bolsas, trozos de árboles o rocas muy grandes, ya que esto disminuirá la resistencia de la estructura.
- ✓ Se recomienda que la arena que servirá de colchón a los adoquines deberá ser arena lavada, dura, angular, uniforme y no deberá contener más del 3% (en peso) de limo, arcilla o de ambos. Su graduación será tal que pase por el tamiz No. 4 y no más del 15% sea retenido en el tamiz No. 10. El espesor de esta capa, no deberá ser menor de 3 cm, ni mayor de 5 centímetros.
- ✓ En la colocación de adoquines se debe realizar con mucho cuidado, no se debe colocar adoquines fisurados y deben de estar libres de cualquier otro material que lo contamine, el tamaño de los adoquines debe ser uniforme nada de irregularidades.
- ✓ Efectuar una debida supervisión durante el período de construcción, primeramente en la estabilización de los materiales y en el cumplimiento de los espesores de diseño de las capas estructurales.



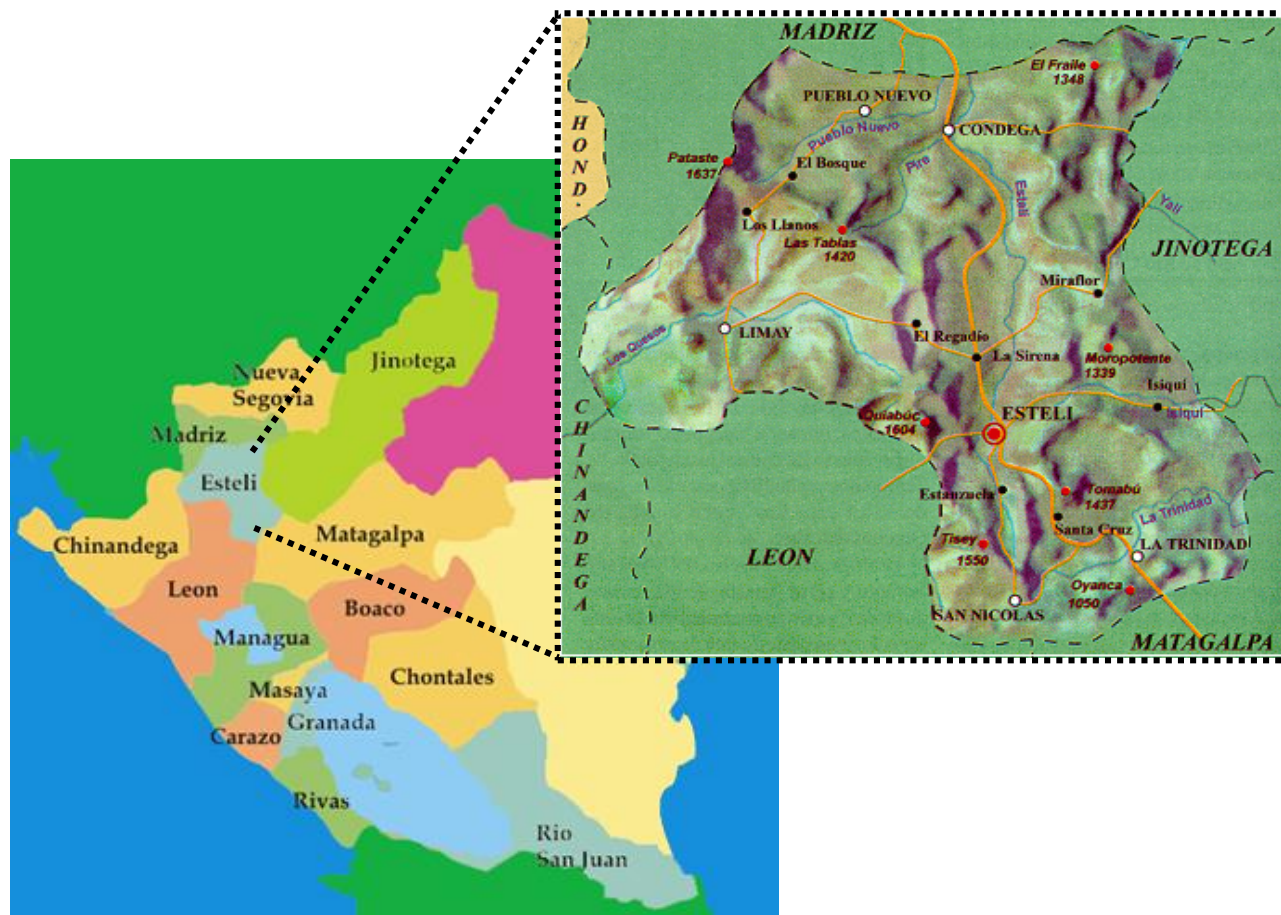
## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO, e. a. (93). Diseño de Pavimentos AASHTO 93 (5ta edición). San Juan: Instituto Nacional de Carreteras de Estados Unidos.
- Fonseca, A. M. (2011). Ingeniería de Pavimentos para Carreteras 2da.
- Hoel, N. J. (2005). Ingeniería de Tránsito y carreteras. México: International Thomson Editores, S.A de C.V.
- Infraestructura, M. d. (2000). Especificaciones Técnicas NIC 2000. Managua: Ministerio de Transporte e Infraestructura.
- Infraestructura, M. d. (2010). Anuario de Tráfico. Managua: División de Administración Vial.
- Jorge, Coronado Iturbide. (2002). Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos.
- SIECA. (2002). Manual Centroamericano de Normas 2da. Guatemala: Secretaria de la Integración Económica Centroamericana.
- Villalaz, C. (1976-1980). Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Monterrey-México: Limusa Noriega Editores.

# ANEXOS



## ANEXO I. MACROLOCALIZACIÓN



*Departamento de Estelí, Municipio de Estelí, República de Nicaragua.*

## ANEXO II. MICROLOCALIZACIÓN



*Tramo en estudio, iniciando en la gasolinera star mar y culminando en la comunidad las Lajas (Miraflor)*



### **ANEXO III. FOTOGRAFÍAS**

**Sección transversal del tramo Estelí – Miraflores.**



*Fuente: Elaboración Propia*

***Situación actual del tramo y a la derecha la fábrica A J FERNANDEZ CIGARS.***



*Fuente: Elaboración Propia*

## ANEXO IV: CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS SEGÚN LA AASHTO

| Clasificación general   | Materiales granulares<br>(35% o menos pasa por el tamiz Nº 200) |                       |                       |                                  |                  |                  |                  | Materiales limoso arcilloso<br>(más del 35% pasa el tamiz Nº 200) |                  |                   |                      |
|---|---|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------|------------------|------------------|---|------------------|-------------------|----------------------|
| Grupo:  | A-1   |                       | A-3                   |                                  |                  |                  |                  | A-4   | A-5              | A-6               | A-7                  |
|   | A-1-a   | A-1-b                 |                       | A-2-4                            | A-2-5            | A-2-6            | A-2-7            |   |                  |                   | A-7-5<br>A-7-6       |
| Porcentaje que pasa:<br>Nº 10 (2mm)<br>Nº 40 (0,425mm)<br>Nº 200 (0,075mm)                            | 50 máx<br>30 máx<br>15 máx                                      | -<br>50 máx<br>25 máx | -<br>51 mín<br>10 máx | -<br>-<br>35 máx                 |                  |                  |                  | -<br>-<br>36 mín  |                  |                   |                      |
| Características de la fracción que pasa por el tamiz Nº 40<br>Límite líquido<br>Índice de plasticidad | -<br>6 máx  |                       | -<br>NP (1)           | 40 máx<br>10 máx                 | 41 mín<br>10 máx | 40 máx<br>11 mín | 41 mín<br>11 mín | 40 máx<br>10 máx  | 41 mín<br>10 máx | 40 máx<br>11 mín  | 41 mín (2)<br>11 mín |
| Constituyentes principales  | Fracmentos de roca, grava y arena                               |                       | Arena fina            | Grava y arena arcillosa o limosa |                  |                  |                  | Suelos limosos  |                  | Suelos arcillosos |                      |
| Características como subgrado   | Excelente a bueno   |                       |                       |                                  |                  |                  |                  | Pobre a malo  |                  |                   |                      |

**Fuente: (Crespo Villalaz).**

## ANEXO V. CLASIFICACIÓN DE SUELOS SUCS

| DIVISIONES PRINCIPALES |                      |                         | Símbolos del grupo  | NOMBRES TÍPICOS   | IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO  |  |  |  |
|------------------------|----------------------|-------------------------|---|---|--|--|--|--|
| SUELOS DE GRANO GRUESO | GRAVAS               | Gravas limpias          | GW  | Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos. | Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue:<br><br><5%->GW,GP,SW,SP.<br><br>>12%->GM,GC,SM,SC.<br><br>5 al 12%->casos límite que requieren usar doble símbolo. | Cu=D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub> >4<br>Cc=(D <sub>30</sub> ) <sup>2</sup> /D <sub>10</sub> xD <sub>60</sub> entre 1 y 3         |  |  |
|                        |                      | (sin o con pocos finos) | GP  | Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.   |  | No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW.  |  |  |
|                        |                      | Gravas con finos        | GM  | Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.                             |  | Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4.  | Encima de línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo.           |  |
|                        |                      |                         | GC  | Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.                       |  | Límites de Atterberg sobre la línea A con IP>7.  |  |  |
|                        | ARENAS               | Arenas limpias          | SW  | Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.     |  | Cu=D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub> >6<br>Cc=(D <sub>30</sub> ) <sup>2</sup> /D <sub>10</sub> xD <sub>60</sub> entre 1 y 3         |  |  |
|                        |                      | (pocos o sin finos)     | SP  | Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.      |  | Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW.  |  |  |
|                        |                      | Arenas con finos        | SM  | Arenas limosas, mezclas de arena y limo.                              |  | Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4.  | Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan |  |
|                        |                      |                         | SC  | Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.                             |  | Límites de Atterberg sobre la línea A con IP>7.  |  |  |
|                        | SUELOS DE GRANO FINO | Limos y arcillas:       |   | ML  |  | Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosa, o limos arcillosos con ligera plasticidad. |  |  |
|                        |                      |                         |   | CL  |  | Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.                         |  |  |
| OL                     |                      |                         |   | Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.     |  |  |  |  |
|                        |                      |                         |   |   |  |  |  |  |
| Limos y arcillas:      |                      | MH                      | Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos. |   |  |  |  |  |
|                        |                      | CH                      | Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.   |   |  |  |  |  |
|                        |                      | OH                      | Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.                       |   |  |  |  |  |
|                        |                      |                         |   |   |  |  |  |  |
| Suelos muy orgánicos   |                      | PT                      | Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.  |   |  |  |  |  |

**Fuente: (Crespo Villalaz).**

## ANEXO IX. FACTORES EQUIVALENTES DE CARGAS, EJES SIMPLES.

*Tabla 3.1. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples,  $p_t = 2.0$*

| Carga por eje |       | SN         |            | pulg       | (mm)        |             |             |
|---------------|-------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| (kips)        | (KN)  | 1.0 (25.4) | 2.0 (50.8) | 3.0 (76.2) | 4.0 (101.6) | 5.0 (127.0) | 6.0 (152.4) |
| 2             | 8.9   | .0002      | .0002      | .0002      | .0002       | .0002       | .0002       |
| 4             | 17.8  | .002       | .003       | .002       | 0.002       | .002        | .002        |
| 6             | 26.7  | .009       | .012       | .011       | 0.10        | .009        | .009        |
| 8             | 35.6  | .030       | .035       | .036       | .033        | .031        | .029        |
| 10            | 44.5  | .075       | .085       | .090       | .085        | 0.79        | .076        |
| 12            | 53.4  | .165       | .177       | .189       | .183        | .174        | .168        |
| 14            | 62.3  | .325       | .338       | .354       | .350        | .338        | .331        |
| 16            | 71.2  | .589       | .598       | .613       | .612        | .603        | .596        |
| 18            | 80.0  | 1.00       | 1.00       | 1.00       | 1.00        | 1.00        | 1.00        |
| 20            | 89.0  | 1.61       | 1.59       | 1.56       | 1.55        | 1.57        | 1.59        |
| 22            | 97.9  | 2.49       | 2.44       | 2.35       | 2.31        | 2.35        | 2.41        |
| 24            | 106.8 | 3.71       | 3.62       | 3.43       | 3.33        | 3.40        | 3.51        |
| 26            | 115.7 | 5.36       | 5.21       | 4.88       | 4.68        | 4.77        | 4.96        |

*Fuente: Manual AASHTO-93 Design Requirements.*

| INTERPOLACION |   |        |
|---------------|---|--------|
| Carga(Kip)    |   | ESAL   |
| 2             | = | 0.0002 |
| 2.2           | = | X      |
| 4             | = | 0.002  |

$$X = \frac{(2.2 - 2) * (0.002 - 0.0002)}{(4 - 2)} + 0.0002 = 0.00038$$



## ANEXO X. FACTORES EQUIVALENTES DE CARGAS, EJES TÁNDEM.

Tabla 3.2. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem,  $p_t = 2.0$

| Carga por eje |       | SN         |            |            |             |             |             |
|---------------|-------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| (kips)        | (KN)  | 1.0 (25.4) | 2.0 (50.8) | 3.0 (76.2) | 4.0 (101.6) | 5.0 (127.0) | 6.0 (152.4) |
| 2             | 8.9   | .0000      | .0000      | .0000      | .0000       | .0000       | .0000       |
| 4             | 17.8  | .0003      | .0003      | .0003      | .0002       | .0002       | .0002       |
| 6             | 26.7  | .001       | .001       | .001       | .001        | .001        | .001        |
| 8             | 35.6  | .003       | .003       | .003       | .003        | .003        | .002        |
| 10            | 44.5  | .007       | .008       | .008       | .007        | .006        | .006        |
| 12            | 53.4  | .013       | .016       | .016       | .014        | .013        | .012        |
| 14            | 62.3  | .024       | .029       | .029       | .026        | .024        | .023        |
| 16            | 71.2  | .041       | .048       | .050       | .046        | .042        | .040        |
| 18            | 80.0  | .066       | .077       | .081       | .075        | .069        | .066        |
| 20            | 89.0  | .103       | .117       | .124       | .117        | .109        | .105        |
| 22            | 97.9  | .156       | .171       | .183       | .174        | .164        | .158        |
| 24            | 106.8 | .227       | .244       | .260       | .252        | .239        | .231        |
| 26            | 115.7 | .322       | .340       | .360       | .353        | .338        | .329        |
| 28            | 124.6 | .447       | .465       | .487       | .481        | .466        | .455        |
| 30            | 133.5 | .607       | .623       | .646       | .643        | .627        | .617        |
| 32            | 142.4 | .810       | .823       | .843       | .842        | .829        | .819        |
| 34            | 151.3 | 1.06       | 1.07       | 1.08       | 1.08        | 1.08        | 1.07        |
| 36            | 160.0 | 1.38       | 1.38       | 1.38       | 1.38        | 1.38        | 1.38        |
| 38            | 169.1 | 1.76       | 1.75       | 1.73       | 1.72        | 1.73        | 1.74        |
| 40            | 178.0 | 2.22       | 2.19       | 2.15       | 2.13        | 2.16        | 2.18        |
| 42            | 186.9 | 2.77       | 2.73       | 2.64       | 2.62        | 2.66        | 2.70        |

Fuente: Manual AASHTO-93 Design Requirements.

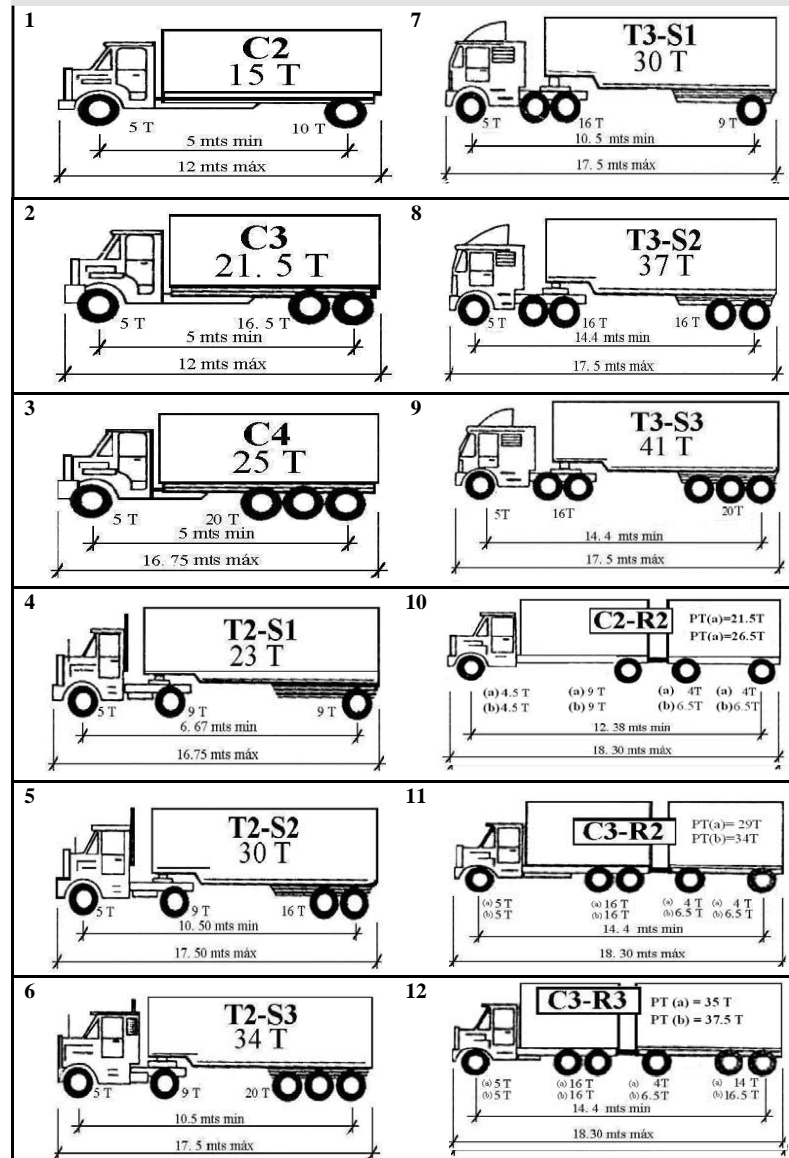
| INTERPOLACION |   |      |
|---------------|---|------|
| Carga(Kip)    |   | ESAL |
| 34            | = | 1,08 |
| 35,2          | = | X    |
| 36            | = | 1,38 |

$$X = \frac{(35.2 - 34) * (1.38 - 1.08)}{(36 - 34) + (1.08)} = 1.26$$

## ANEXO XI. DIAGRAMA DE VEHÍCULOS PESADOS

MINISTERIO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA  
DIRECCIÓN GENERAL DE VIALIDAD Departamento de Pesos  
y Dimensiones

Diagrama de Cargas Permisible



**Nota:** El Peso máximo permisible será el menor entre el especificado por el fabricante y el contenido en esta columna.

(a): Eje sencillo, llanta sencilla.

(b): Eje sencillo, llanta doble

\* Según vehículo cargado o descargado excederá en: Ancho: 2.60 mts, Alto 4.15 mts, Largo: 2 ejes 12 mts, 3 ejes 12 mts, semiremolque 17.50 mts, otras combinaciones desde 18.30 mts hasta 23 mts máximo.

\* Para los ejes dobles (tandem) y triple la separación de centros comprendidos entre las ruedas es entre 1.0 y 1.30 mts.

**Fuente (Ministerio de Transporte e Infraestructura vial (MTI))**

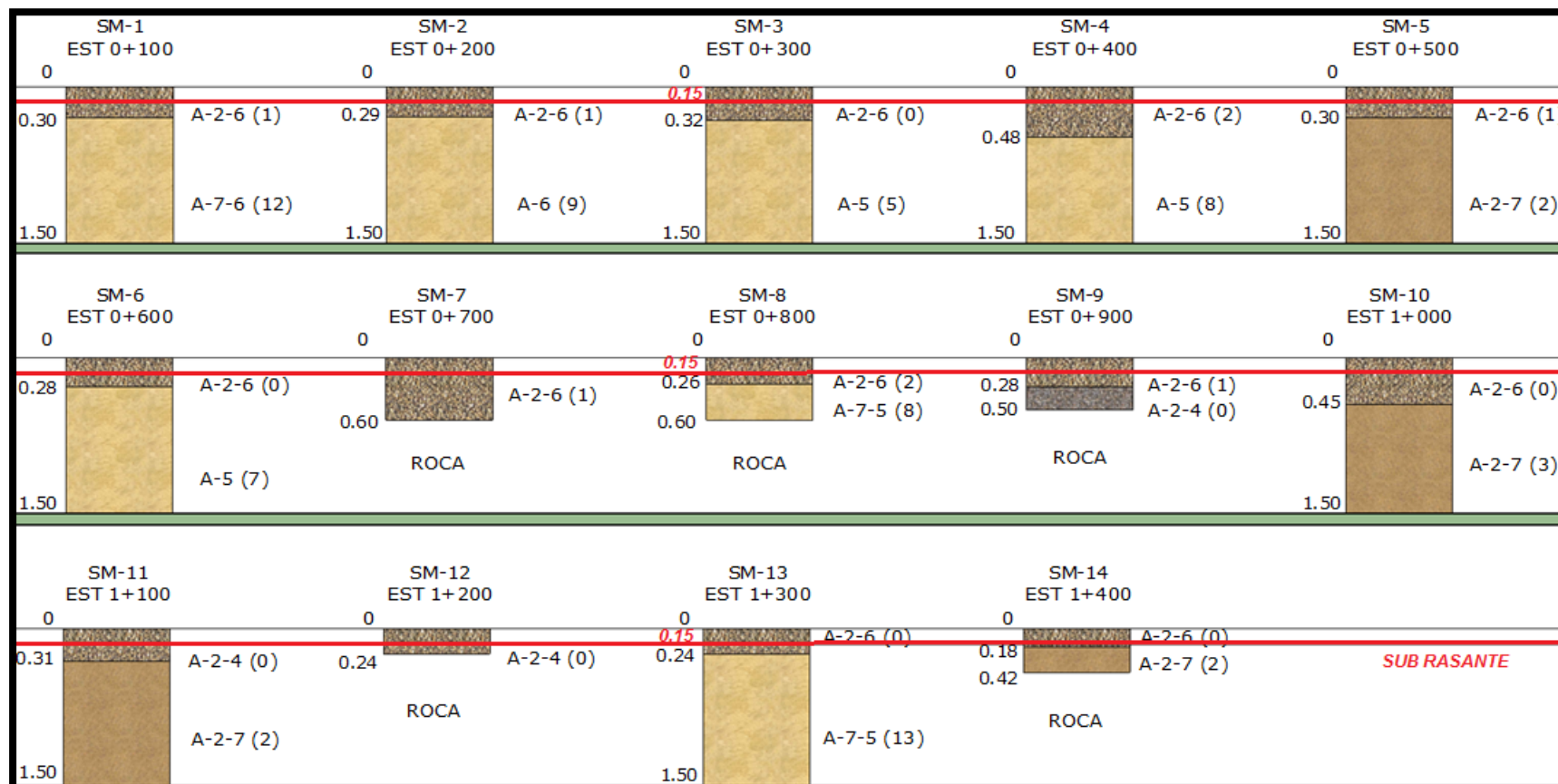
## ANEXO VI. RESULTADOS DE ENSAYES DE LABORATORIO.

| Sondeo No. | Estaciones | Profundidad (m) | Muestra No. | Porcentaje que pasa el Tamiz |      |     |      |      |       | Límite Líquido(%) | Límite Plástico (%) | Índice Plástico (%) | Clasificación |             |         | CBR a Compactación |     |      |
|------------|------------|-----------------|-------------|------------------------------|------|-----|------|------|-------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------|-------------|---------|--------------------|-----|------|
|            |            |                 |             | 1/2"                         | 3/8" | N°4 | N°10 | N°40 | N°200 |                   |                     |                     | Color         | AASHTO (IG) | S.U.C.S | 90%                | 95% | 100% |
| SM-1       | 0+100      | 0.00 - 0.30     | 1           | 100                          | 100  | 100 | 91   | 76   | 26    | 37                | 18                  | 19                  | Café Claro    | A-2-6 (1)   | GC      | 10                 | 23  | 34   |
|            |            | 0.30 - 1.50     | 2           | 100                          | 100  | 100 | 96   | 82   | 67    | 43                | 21                  | 22                  | Amarillenta   | A-7-6 (12)  | CL      | 3                  | 5   | 7    |
| SM-2       | 0+200      | 0.00 - 0.29     | 1           | 100                          | 100  | 100 | 93   | 78   | 30    | 39                | 22                  | 17                  | Café Claro    | A-2-6 (1)   | GC      | 11                 | 20  | 32   |
|            |            | 0.29 - 1.50     | 2           | 100                          | 100  | 100 | 94   | 80   | 70    | 40                | 26                  | 14                  | Amarillenta   | A-6 (9)     | CL      | 4                  | 6   | 8    |
| SM-3       | 0+300      | 0.00 - 0.32     | 1           | 100                          | 100  | 100 | 87   | 71   | 34    | 31                | 19                  | 12                  | Café Claro    | A-2-6 (0)   | GC      | 8                  | 24  | 35   |
|            |            | 0.32 - 1.50     | 2           | 85                           | 75   | 63  | 52   | 35   | 60    | 43                | 38                  | 5                   | Amarillenta   | A-5 (5)     | CL      | 3                  | 10  | 16   |
| SM-4       | 0+400      | 0.00 - 0.48     | 1           | 100                          | 100  | 100 | 92   | 77   | 34    | 37                | 19                  | 18                  | Café Claro    | A-2-6 (2)   | GC      | 11                 | 19  | 36   |
|            |            | 0.48 - 1.50     | 2           | 87                           | 77   | 65  | 50   | 37   | 75    | 41                | 34                  | 7                   | Amarillenta   | A-5 (8)     | CL      | 8                  | 10  | 15   |
| SM-5       | 0+500      | 0.00-0.30       | 1           | 100                          | 100  | 100 | 91   | 75   | 25    | 35                | 14                  | 21                  | Café Claro    | A-2-6 (1)   | GC      | 10                 | 22  | 32   |
|            |            | 0.30-1.50       | 2           | 100                          | 100  | 100 | 96   | 82   | 29    | 41                | 15                  | 26                  | Café Oscuro   | A-2-7 (2)   | GM      | 11                 | 15  | 28   |
| SM-6       | 0+600      | 0.00-0.28       | 1           | 100                          | 100  | 100 | 91   | 74   | 27    | 40                | 28                  | 12                  | Café Claro    | A-2-6 (0)   | GC      | 9                  | 21  | 31   |
|            |            | 0.28-1.50       | 2           | 86                           | 77   | 65  | 50   | 37   | 69    | 44                | 36                  | 8                   | Amarillenta   | A-5 (7)     | CL      | 7                  | 9   | 14   |
| SM-7       | 0+700      | 0.00-0.60       | 1           | 98                           | 100  | 99  | 93   | 78   | 26    | 39                | 22                  | 17                  | Café Claro    | A-2-6 (1)   | GC      | 10                 | 20  | 35   |
| SM-8       | 0+800      | 0.00-0.26       | 1           | 96                           | 100  | 96  | 91   | 76   | 35    | 37                | 18                  | 19                  | Café Claro    | A-2-6 (2)   | GC      | 11                 | 19  | 36   |
|            |            | 0.26-0.60       | 2           | 100                          | 100  | 100 | 95   | 81   | 69    | 42                | 30                  | 12                  | Amarillenta   | A-7-5 (8)   | CL      | 5                  | 7   | 9    |
| SM-9       | 0+900      | 0.00-0.28       | 1           | 100                          | 100  | 99  | 90   | 75   | 24    | 31                | 12                  | 19                  | Café Claro    | A-2-6 (1)   | GC      | 8                  | 24  | 35   |
|            |            | 0.28-0.50       | 2           | 99                           | 99   | 94  | 87   | 76   | 28    | 40                | 30                  | 10                  | Café Claro    | A-2-4 (0)   | GC      | 21                 | 25  | 32   |
| SM-10      | 1+000      | 0.00-0.45       | 1           | 99                           | 98   | 95  | 86   | 70   | 30    | 33                | 22                  | 11                  | Café Claro    | A-2-6 (0)   | GC      | 19                 | 25  | 31   |
|            |            | 0.45-1.50       | 2           | 100                          | 100  | 99  | 94   | 80   | 30    | 45                | 25                  | 20                  | Café Oscuro   | A-2-7 (3)   | GM      | 9                  | 17  | 20   |
| SM-11      | 1+100      | 0.00-0.31       | 1           | 100                          | 98   | 96  | 88   | 77   | 29    | 30                | 25                  | 5                   | Café Claro    | A-2-4 (0)   | GC      | 20                 | 23  | 33   |
|            |            | 0.31-1.50       | 2           | 100                          | 100  | 100 | 96   | 82   | 26    | 41                | 15                  | 26                  | Café Oscuro   | A-2-7 (2)   | GM      | 9                  | 15  | 27   |
| SM-12      | 1+200      | 0.00-0.24       | 1           | 100                          | 99   | 94  | 52   | 35   | 17    | 27                | 17                  | 10                  | Café Claro    | A-2-4 (0)   | GC      | 20                 | 25  | 35   |
| SM-13      | 1+300      | 0.00-0.24       | 1           | 100                          | 100  | 99  | 87   | 71   | 20    | 31                | 19                  | 12                  | Café Claro    | A-2-6 (0)   | GC      | 10                 | 23  | 34   |
|            |            | 0.24-1.50       | 2           | 98                           | 100  | 100 | 93   | 80   | 71    | 50                | 30                  | 20                  | Amarillenta   | A-7-5 (13)  | CH      | 3                  | 5   | 8    |
| SM-14      | 1+400      | 0.00-0.18       | 1           | 100                          | 100  | 100 | 90   | 73   | 19    | 39                | 19                  | 20                  | Café Claro    | A-2-6 (0)   | GC      | 8                  | 24  | 35   |
|            |            | 0.18-0.42       | 2           | 100                          | 100  | 98  | 96   | 82   | 25    | 41                | 15                  | 26                  | Café Oscuro   | A-2-7 (2)   | GM      | 9                  | 15  | 20   |

*Las celdas color amarillo son las tomadas para la acumulación del CBR de Diseño.*

**Fuente: Elaboración Propia**

## ANEXO VII. ESTRATIGRAFÍA DE LA VÍA (PROFUNDIDADES EXPRESADAS EN METROS)



Fuente: Elaboración Propia

## ANEXO VIII. FORMATO DE CONTEO VEHICULAR.

| Estudio de Tráfico               |            |                 |                    |                   |                         |          |         |                      |           |               |               |                |                  |       |         |           |           |           |          |         |           |            |              |          |                   |
|----------------------------------|------------|-----------------|--------------------|-------------------|-------------------------|----------|---------|----------------------|-----------|---------------|---------------|----------------|------------------|-------|---------|-----------|-----------|-----------|----------|---------|-----------|------------|--------------|----------|-------------------|
| CONTENOS VOLUMETRICOS DE TRAFICO |            |                 |                    |                   |                         |          |         |                      |           |               |               |                |                  |       |         |           |           |           |          |         |           |            |              |          |                   |
| ESTACION:                        |            |                 |                    |                   | Sentido:                |          |         |                      |           | FECHA:        |               |                |                  |       |         |           |           |           |          |         |           |            |              |          |                   |
|                                  |            |                 |                    |                   |                         |          |         |                      |           | CONTADOR:     |               |                |                  |       |         |           |           |           |          |         |           |            |              |          |                   |
| Hora                             | Bicic      | Moto            | Vehiculos Livianos |                   |                         |          |         | Pesados de Pasajeros |           |               |               |                | Pesados de Carga |       |         |           |           |           |          |         |           |            | Veh. Pesados |          | Veh. Trac. Animal |
|                                  |            |                 | Autos              | Jeep              | Camionetas              | Pick UPs | Mbus    | MB >15 P             | Bus       | Camión C2     | C2 Liv        | C2 > 5 ton     | C3               | C4    | C2R2    | C2R3      | TxSx<=4e  | T3S2      | T3S3     | Otros   | Veh. Cons | Veh. Agric |              |          |                   |
| 1 2 3                            | 1 2 3 4    | 1 2 3 4 5 6 7 8 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9  | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 | 1 2 3 4  | 1 2 3 4 | 1 2 3 4 5            | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 6 7 | 1 2 3 4 5 6 7 | 1 2 3 4 5 6    | 1 2 3            | 1 2 3 | 1 2 3 4 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4  | 1 2 3 4 | 1 2 3 4   | 1 2 3 4    | 1 2 3 4      | 1 2 3 4  | 1 2 3 4 5         |
| 4 5 6                            | 5 6 7 8    | 9 10 11 12 13   | 10 11 12 13 14 15  | 10 11 12 13 14 15 | 12 13 14 15 16 17 18    | 5 6 7 8  | 5 6 7 8 | 6 7 8 9              | 6 7 8 9   | 8 9 10 11 12  | 8 9 10 11 12  | 7 8 9 10 11 12 | 4 5 6            | 4 5 6 | 5 6 7 8 | 6 7 8 9   | 6 7 8 9   | 6 7 8 9   | 5 6 7 8  | 5 6 7 8 | 5 6 7 8   | 5 6 7 8    | 5 6 7 8      | 5 6 7 8  | 6 7 8 9           |
| 7 8 9                            | 9 10 11 12 | 14 15 16 17     | 16 17 18 19 20 21  | 16 17 18 19 20 21 | 19 20 21 22 23 24 25    | 9 10     | 9 10 11 | 10 11 12             | 10 11 12  | 10 11 12      | 13 14 15 16   | 12 13 14 15    | 7 8 9            | 7 8 9 | 9 10    | 10 11     | 10 11 12  | 10 11 12  | 10 11 12 | 9 10 11 | 9 10      | 9 10       | 10 11 12     | 10 11 12 |                   |
| 10 11                            | 12 13      | 18 19 20 21     | 22 23 24 25 26 27  | 22 23 24 25 26 27 | 26 27 28 29 30 31 32    | 11 12    | 12 13   | 13 14 15             | 13 14 15  | 17 18 19 20   | 17 18 19 20   | 16 17 18 19    | 10 11            | 10    | 11 12   | 12 13     | 13 14 15  | 12 13     | 11 12    | 11 12   | 11 12     | 12 13      | 13 14 15     | 13 14 15 |                   |
| 12 13                            | 14 15      | 22 23 24 25     | 28 29 30 31 32 33  | 28 29 30 31 32 33 | 33 34 35 36 37 38 39    | 13 14    | 14 15   | 16 17 18             | 16 17 18  | 21 22 23 24   | 21 22 23 24   | 20 21 22 23    | 12 13            | 11    | 13 14   | 14 15     | 13 14 15  | 16 17 18  | 14 15    | 13 14   | 13 14     | 14 15      | 14 15        | 13 14 15 |                   |
| 14 15                            | 16 17      | 26 27 28 29     | 34 35 36 37 38 39  | 34 35 36 37 38 39 | 40 41 42 43 44 45 46    | 15 16    | 16 17   | 19 20 21             | 19 20 21  | 25 26 27 28   | 24 25 26 27   | 24 25 26 27    | 14 15            | 12    | 15 16   | 16        | 16        | 19 20 21  | 16 17    | 15 16   | 15 16     | 16         | 16           | 16       |                   |
| 1 2 3                            | 1 2 3 4    | 1 2 3 4 5 6 7 8 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9  | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 | 1 2 3 4  | 1 2 3 4 | 1 2 3 4 5            | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 6 7 | 1 2 3 4 5 6 7 | 1 2 3 4 5 6    | 1 2 3            | 1 2 3 | 1 2 3 4 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4  | 1 2 3 4 | 1 2 3 4   | 1 2 3 4    | 1 2 3 4      | 1 2 3 4  | 1 2 3 4 5         |
| 4 5 6                            | 5 6 7 8    | 9 10 11 12 13   | 10 11 12 13 14 15  | 10 11 12 13 14 15 | 12 13 14 15 16 17 18    | 5 6 7 8  | 5 6 7 8 | 6 7 8 9              | 6 7 8 9   | 8 9 10 11 12  | 8 9 10 11 12  | 7 8 9 10 11    |                  |       |         |           |           |           |          |         |           |            |              |          |                   |

**Fuente: Elaboración Propia**